

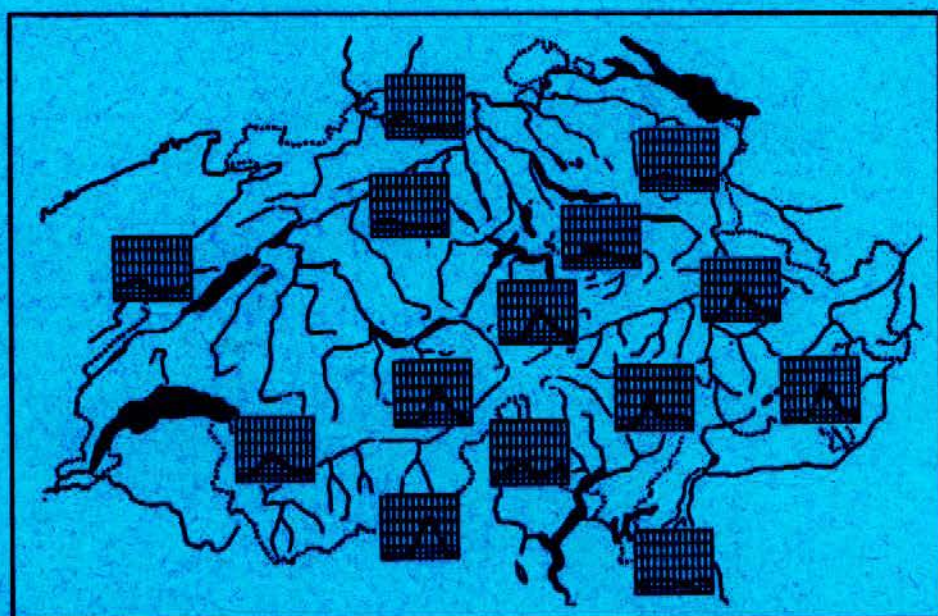
GEOGRAPHISCHES INSTITUT DER UNIVERSITAET BERN
ABT. PHYSIKALISCHE GEOGRAPHIE-GEWAESSERKUNDE

HUGO ASCHWANDEN
ROLF WEINGARTNER

B. DIE ABFLUSSREGIMES DER SCHWEIZ

Mit 58 Tabellen, 86 Figuren und 1 Karte

1985



Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes "Grundlegende Probleme des schweizerischen Wasserhaushaltes" - Teilstudie: Abschätzung der Abflüsse in Fließgewässern an Stellen ohne Direktmessung. Der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung - Projekt-Nr. 4-530-0-82-02 - und das Geographische Institut der Universität Bern, Abt. Physikalische Geographie und Gewässerkunde, - Projekt Abflussregime - unterstützen diese Untersuchung.

VORWORT

Die Uebertragung von punktfoermig gemessenen Daten auf Flaechen ist ein zentrales Thema der Hydrologie. Als Geographen mit einem traditionellen Interesse an Resultaten in planungsrelevanten Dimensionen haben wir uns bereits verschiedentlich mit methodischen Aspekten auf diesem Gebiet auseinandergesetzt. Das Nationalfonds-Projekt "Abschaetzung der Abfluesse in Fliessgewaessern an Stellen ohne Direktmessung" im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes "Grundlegende Probleme des schweizerischen Wasserhaushaltes" greift nun diese Problematik erneut auf. Ausgangspunkt des vom Geographischen Institut bearbeiteten Mittelwasserbereiches bildete dabei ein geographisch hydrologischer Ansatz, basierend auf einer hydrologischen Raumgliederung ueber die Abflussregimes der schweizerischen Fliessgewaesser. Die jetzt vorliegenden Resultate zeigen, dass eine solche Betrachtungsweise zur Loesung von Uebertragungsproblemen in der Hydrologie fuehren kann. Mit diesem zusammenfassenden Bericht zu den Forschungsarbeiten ueber die Regimetypisierung der Schweiz wird der erste Teil des Projektes abgeschlossen. Diese Studie darf gleichzeitig als erstes Beispiel zu weiteren hydrologischen Uebersichten in geeigneten Massstaeben fuer die Schweiz verstanden werden.

Wir danken dem Nationalfonds fuer seine Unterstuetzung. R. Weingartner und H. Aschwanden danke ich fuer ihren Einsatz und die Gruendlichkeit mit der sie die gestellte schwierige Aufgabe in die Hand genommen und ausgefuehrt haben.

Ch. Leibundgut

VORWORT DER VERFASSEN

Unter dem Titel "Abflussregimes der Schweiz" sind 1983 und 1984 in der Reihe "Publikationen Gewaesserkunde" des Geographischen Institutes der Universitaet Bern zwei Teilberichte erschienen: "Alpine Abflussregimes" (Nr.44) sowie "Mittellaendische und jurassische Abflussregimes" (Nr.54). In der vorliegenden Publikation werden diese Teilberichte in leicht ueberarbeiteter Form - zusammen mit dem urspruenglich als dritten Teilbericht geplanten Band zu den suedalpinen Abflussregimes - neu aufgelegt. Dadurch wird eine bessere Uebersicht und eine gesamtschweizerische Vergleichbarkeit der Typisierungsmethode und der Abflussregimetypen gewaehrleistet. Da die drei voneinander unabhaengigen Teilberichte zeitlich nacheinander entstanden sind, ist eine gewisse Heterogenitaet nicht zu vermeiden, insbesondere in bezug auf die inhaltliche Gestaltung und die Regimebezeichnungen. In einer Gesamtschau werden deshalb die wichtigsten Ergebnisse der Teilberichte in vereinheitlichter Form dargestellt. Diese Gesamtschau dient auch dazu, sich schnell vom methodischen Vorgehen und den wichtigsten Ergebnissen ins Bild zu setzen. Fuer detailliertere Informationen verweisen wir auf die Teilberichte I - III. Durch die einleitende Problemstellung und Zielsetzung wird der Rahmen der Gesamtuntersuchung abgesteckt. Das Gesamtinhaltsverzeichnis umfasst saemtliche in der Uebersicht und den Teilberichten zitierte Literatur.

Bern, Juni 1985

H. Aschwanden
R. Weingartner

INHALTSUEBERSICHT

VORWORT

VORWORT DER VERFASSER

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG, RESUME, SUMMARY

UEBERSICHT

| | |
|--|---|
| 1. Problemstellung und Zielsetzung | 1 |
| 2. Gesamtschau | 5 |

TEIL I: ALPINE ABFLUSSREGIMES

| | |
|--|------|
| A 1. Einleitung | A- 1 |
| A 2. Grundtypen der schweizerischen Abflussregimes | A- 9 |
| A 3. Typisierung der alpinen Abflussregimes | A-19 |
| A 4. Die alpinen Regimetypen | A-33 |
| A 5. Raeumliche Uebertragung | A-55 |
| Zusammenfassung | A-63 |

TEIL II: MITTELLAENDISCHE UND JURASSISCHE ABFLUSSREGIMES

| | |
|--|------|
| M 1. Einleitung | M- 1 |
| M 2. Datenlage | M-15 |
| M 3. Typisierung der Abflussregimes des Untersuchungsraumes | M-27 |
| M 4. Die mittellaendischen und jurassischen Abflussregimetypen | M-41 |
| M 5. Raeumliche Uebertragung | M-57 |
| M 6. Bedeutung und Anwendung | M-75 |
| Zusammenfassung | M-79 |

TEIL III: SUEDALPINE ABFLUSSREGIMES

| | |
|--|------|
| S 1. Bisherige Untersuchungen zu den suedalpinen Regimes | S- 1 |
| S 2. Datenlage | S- 5 |
| S 3. Typisierung | S-15 |
| S 4. Die suedalpinen Regimetypen | S-33 |
| S 5. Raeumliche Uebertragung | S-49 |
| Zusammenfassung | S-55 |

GESAMTLITERATURVERZEICHNIS UND QUELLEN

ZUSAMMENFASSUNG

Die Abflussregimetypisierung der Schweiz fuehrt zu 16 Regimetypen, welche sich quantitativ beschreiben und in ihrer raeumlichen Verbreitung festhalten lassen. Dadurch ist es nun moeglich, in Einzugsgebieten (10-500 km²) ohne Direktmessung eine Abschaetzung des mittleren Abflussverhaltens und der damit verbundenen Richtwerte zu erhalten. Methodisch wurden konventionelle Typisierungsverfahren und Verfahren der Distanzgruppierung z.T. kombiniert angewendet. Die raeumliche Umsetzung gelingt in den alpinen Gebieten mittels der arealen Vergletscherung und der mittleren Einzugsgebietshoehe; ueber den letzteren Parameter lassen sich auch die suedalpinen Regimetypen raeumlich einordnen. Im Mittelland geschieht die raeumliche Festlegung der Typen mittels FOURIER- und Trendflaechenanalyse.

Es wird die praktische Bedeutung dieser Abflussregimetypisierung aufgezeigt.

SUMMARY

The classification of the runoff regimen in Switzerland shows 16 different types. They can be described by means of hydrological standard values and determined in their spatial distribution. In drainage basins (10-500 km²) where no measurements exist it is thus possible to estimate the long-term annual hydrograph and to get the corresponding standard values. Non-numerical methods of classification are used in combination with the method of cluster analyses. In the alpine areas the spatial application is made possible by the glaciation and the mean altitude; the latter parameter also allows the spatial classification of the regimen of the Southern Alps. In the Swiss Mittelland the spatial determination of the different types is realized by means of FOURIER- and trend surface analyses.

This contribution shows the practical significance of this runoff regimen classification.

RESUME

La classification des régimes d'écoulement de la Suisse a permis de distinguer 16 types de régimes qui peuvent être décrits à l'aide de paramètres hydrologiques caractéristiques. Une répartition spatiale de ces types est également réalisée. Grâce à cette classification, il est désormais possible d'estimer le comportement moyen de l'écoulement et les paramètres s'y rapportant dans les bassins-versant (10-500 km²) pour lesquels on ne dispose pas de mesures directes. La méthode repose sur des procédés de classification conventionnels et des méthodes d'analyse métrique des nuages utilisés en partie conjointement. Dans les régions alpines, la transposition spatiale est effectuée par le biais de la superficie des glaciers et de l'altitude moyenne. L'altitude moyenne permet également de répartir les types de régimes méridionaux dans l'espace. Dans le Moyen-Pays, la répartition spatiale des types de régimes repose sur des analyses de FOURIER et des analyses de surface de régression. La signification pratique de cette classification des régimes d'écoulement est mise en évidence.

U E B E R S I C H T

1. PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG

In der Festlandhydrologie spielt das Systemelement Abfluss eine hervorragende Rolle. Da das Abflussregime das Abflussverhalten eines Einzugsgebietes integral zu charakterisieren vermag, ist es zur Kennzeichnung des Abflusses sehr wichtig. Als Abflussregime wird der (mittlere) Jahresgang des Abflusses, dargestellt durch den Quotienten Monatsabfluss/Jahresabfluss, bezeichnet.

"Die Untersuchungen zum Abflussregime dienen dem Ziel, Gebiete gleichen Abflussverhaltens und Gesetzmaessigkeiten der raeumlichen Variationen des Abflusses festzustellen" (DYCK 1980,1:32).

Eine Gliederung der Schweiz nach Abflussregimetypen, wie sie mit der vorliegenden Untersuchung angestrebt wird, ermoeeglicht es demnach, wesentliche Grundzuege des Teilsystems Wasser zu kennzeichnen (s. HERRMANN 1965). Damit wird nicht nur ein Beitrag zur hydrologischen, sondern auch zur landschafts-oekologischen Erforschung der Schweiz geleistet, da das Abflussregime eng mit dem Geofaktorenkomplex der (Natur-) Landschaft verbunden ist (s. LESER 1976:121).

Die Fluesse stellen oft die Lebensader einer Landschaft dar; der Mensch ist vielfaeltig mit dem Abfluss, dessen Menge und Schwankungen, verbunden: Wasserkraft, Wasserversorgung, Vorflutung (fuer Abwasserreinigungsanlagen etc.), Bewaesserung, Flussschifffahrt, Erholung, u.a.. Die Planung solcher Nutzungen setzt aber voraus, dass die Abflussverhaeltnisse zuverlaessig bekannt sind. Die taegliche Praxis zeigt nun aber, dass lange, aussagekraeftige Abflussmessreihen am Ort der Planung bzw. des Projektes oft fehlen. Vielfach sind auch keine Messdaten vorhanden. Aus diesem Grund befasst sich ein Teilprojekt des Nationalen Forschungsprogrammes "Grundlegende Probleme des schweizerischen Wasserhaushaltes" des Schweizerischen Nationalfonds zur Foerderung der wissenschaftlichen Forschung mit diesem Themenkreis unter dem Titel "Abschaetzung der Abfluesse in Fliesssgewaessern an Stellen ohne Direktmessung - Regimetypisierung". Dieses Projekt bildet den aeusseren Rahmen der vorliegenden Untersuchung.

Bezogen auf die Schweiz ist zu dieser Thematik bisher wenig veroeffentlicht worden; insbesondere fehlen detaillierte Studien. Dies mag auf den ersten Blick erstaunen, gehoert doch die Abflussregimeforschung zur klassischen Arbeitsrichtung innerhalb der Physischen Geographie (s. ASCHWANDEN, LEIBUNDGUT und WEINGARTNER 1984).

Nach der Aussage von DYCK kann angenommen werden, dass in Einzugsgebieten, die verschiedenen Abflussregimetypen angehoeeren, auch unterschiedliche Steuerfaktoren oder zumindest eine unterschiedliche Hierarchie von Steuerfaktoren den Abfluss beeinflussen: Ein pluviales Regime wird gepraeagt durch die zeitliche Verteilung und das Ausmass der Niederschlaege, ein glaziales Regime fast ausschliesslich durch den Temperaturverlauf im Sommer. Aus diesem Grunde werden vorerst die Abflussregimes der schweizerischen Fliesssgewaesser typisiert und in ihrer raeumlichen Verbreitung festgelegt. Die entstehende Raumgliederung der Schweiz nach Abflussregimes erlaubt eine umfassende, flaechendeckende Beurteilung des saisonalen Abflussverhaltens auf der Basis der Abflusskoeffizienten. Infolge des integralen Charakters der Abflussregimes koennen innerhalb eines Regimetyps auch Aehnlichkeiten erwartet werden, die ueber das mittlere Abflussverhalten hinausgehen.

Problemstellung und Zielsetzung

Die Regimetypen und ihre räumliche Verbreitung bilden die Grundlage für die Abschätzung der absoluten mittleren Monatsabflüsse an Stellen ohne Direktmessung (ASCHWANDEN 1985). Dazu wird ein Modell für die Abschätzung des langjährigen mittleren Jahresabflusses benötigt. Dieses wird vom erwähnten Autor entwickelt.

Die hydrologische Forschung in der Schweiz hat einen hohen Stand erreicht. Viele (Klein-) Einzugsgebiete sind im Detail erforscht. Trotzdem fehlen hydrologische Gesamtübersichten in mittleren Massstäben, welche es erlauben, grossräumige Einblicke in hydrologische Sachverhalte zu vermitteln, die dem Hydrologen beispielsweise auch helfen, seine Resultate in ein grösseres Ganzes einzuordnen. Mit der Abflussregimetypisierung werden Grundlagen zu einer solchen Darstellung erarbeitet. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse können im Sinne einer Realisierbarkeitsstudie für die Konzeption eines "Hydrologischen Atlas der Schweiz" verwendet werden (WEINGARTNER 1985) und mit der kartographischen Umsetzung der Abflussregimetypen lassen sich die Möglichkeiten und Grenzen mittelmassstäblicher hydrologischer Darstellungen erkennen (ASCHWANDEN und WEINGARTNER 1985).

Arbeitsmethodisch lässt sich die vorliegende Untersuchung in folgende Arbeitsschritte gliedern:

1. **Datensammlung:** Es soll ein Inventar bestehender Abflussmessreihen erstellt und die Tauglichkeit der vorhandenen Daten bezüglich der Problemstellung geprüft werden. Bei der Inventarisierung der Daten ist Vollständigkeit anzustreben. Aus der Gesamtheit der Daten sollen jene Kerndaten hervorgehoben werden, welche sich für eine Typisierung der Abflussregimes der Schweiz eignen.
2. Es muss angenommen werden, dass sich die klimatischen Regionen der Schweiz, insbesondere die Differenzierung Alpennordseite - Alpensüdseite, auf die Abflussregimes auswirken und ihnen ein **charakteristisches Grundgepräge** geben.
3. **Typisierung/Regionalisierung:** In Anlehnung an SEDLACEK(1978:2) verstehen wir unter Regionalisierung einen zweistufigen Prozess, bei dem die Beobachtungseinheiten zuerst typisiert und dann Beobachtungseinheiten des gleichen Typs zu Regionen zusammengefasst werden. Um von der Typisierung zur Regionalisierung zu gelangen, muss die räumliche Einordnung der einzelnen Regimetypen bekannt sein. Damit wird ein wesentlicher Punkt des NF-Teilprojektes "Abschätzung der Abflüsse an Stellen ohne Direktmessung" erfüllt.
Zur Typisierung der Abflussregimes stehen grundsätzlich zwei verschiedene Verfahren zur Verfügung:
 - a. Bei den **konventionellen Typisierungsverfahren**, wie sie beispielsweise in den Arbeiten von PARDE(1933), KELLER(1968), GRIMM(1968), GAUDET(1975), SCHMIDT(1981) und LEIBUNDGUT(1983) angewendet wurden, wird eine Variablenhierarchie definiert und die Beobachtungen werden über Schwellenwerte klassiert (s. RASE 1975:47f).
 - b. Bei den Verfahren der **Distanzgruppierung** gehen alle Variablen gleichberechtigt in die Datenanalyse ein (Clusteranalyse, Diskriminanzanalyse).

Beide Verfahren haben Vor- und Nachteile; so bildet bei den konventionellen Verfahren die Festlegung der Variablenhierarchie oft ein Problem; bei den Distanzgruppierungsverfahren wirkt sich der Umstand vielfach nachteilig

aus, dass nicht mit den urspruenglichen Daten, sondern mit mehrfach transformierten Daten gearbeitet werden muss.

Im Rahmen dieser Untersuchung sollen beide Verfahren angewendet werden, um das optimale Verfahren zu ermitteln. Es ist auch denkbar, dass sich durch die Kombination beider Verfahren guenstige Resultate ergeben koennten.

An eine Regionalisierung wird oft die Bedingung geknuempft, dass fuer die zu bildenden Regionen raeumliche Kontingenzt besteht (Regionalisierung im engeren Sinne), dass also die zu einem Typ gehoerige Raumeinheit raeumlich zusammenhaengend ist (s. BAHRENBURG und GIESE 1975:260). Wird diese Bedingung nicht erfuehlt, so spricht man von **Gebietstypen** (SEDLACEK 1978:3). Diesem Punkt wird bei der Regionalisierung der Regimetypen ebenfalls Beachtung zu schenken sein, ist er doch fuer die geplante kartographische Darstellung sehr wichtig.

4. **Praktische Anwendung:** Ein dem NF-Teilprojekt immanenter Auftrag ist die praktische Anwendung der Resultate. Aus diesem Grunde muessen die Ergebnisse in praktikabler Form zusammengefasst werden (s. ASCHWANDEN, LEIBUNDGUT und WEINGARTNER 1984):

- Raeumliche Verbreitung der Regimetypen;
- Abschaetzung der Abflussregimekurve eines Einzugsgebietes ohne Direktmessung;
- Auswahl von Einzugsgebieten, welche fuer die Regimetypen repraesentativ sind.

Motiviert durch die NF-Teilstudie "Abschaetzung der Abflussregimes an Stellen ohne Direktmessung" will die vorliegende Untersuchung also einen vertieften Einblick in einen Aspekt der Hydrologie der Schweiz geben und damit auch auf Moeglichkeiten und Bedeutung solcher hydrologischer Gesamtuebersichten hinweisen. Dank des integralen Charakters der Abflussregimes duerften die entstehenden Raumeinheiten von grundlegender hydrologischer Bedeutung sein.

2. GESAMTSCHAU

Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit der **Regionalisierung der Schweiz nach Abflussregimes** im mittelmassstaeblichen Bereich. Der Ausgangspunkt dazu bildet ein Forschungsprojekt des Schweizerischen Nationalfonds, das sich mit der Abschaetzung der Abfluesse in ungemessenen Einzugsgebieten beschaeftigt (ASCHWANDEN 1985). Gleichzeitig ist damit auch eine Studie verbunden, die die Moeglichkeiten und Grenzen der kartographischen Darstellung von hydrologischen Sachverhalten im gesamtschweizerischen Rahmen zum Inhalt hat (WEINGARTNER 1985).

2.1. METHODISCHES VORGEHEN

Allgemein werden unter Regime die relativen oder die absoluten Schwankungen eines Wasserhaushaltelementes innerhalb eines bestimmten Zeitraumes verstanden. In Anlehnung an die Klassifikation von PARDE(1933) bezeichnet das **Abflussregime** die Abfolge der monatlichen Abflusskoeffizienten im Jahr (Quotient aus $MQ[Monat]$ und $MQ[Jahr]$ einer laengeren Beobachtungsperiode).

Zur Typisierung der schweizerischen Abflussregimes stehen **Abflussdaten** aus dem Messnetz der Landeshydrologie, aus kantonalen Messnetzen und von Drittstellen zur Verfuegung. BUTTET und SPREAFICO(1983) geben ein umfassendes Verzeichnis dieser Abflussmessstationen. Aufgrund der Fragestellung (Typisierung des langjaehrigen Abflussverhaltens) und aus Gruenden der Vergleichbarkeit werden an die Daten bestimmte Anforderungen gestellt: eine Abflussmessstation wird dann als repraesentativ bezeichnet, falls die Messreihe und das entsprechende Einzugsgebiet folgende Voraussetzungen erfuellen:

1. Abflussmessreihe konsistent und homogen;
2. Abfluss anthropogen unbeeinflusst;
3. Abflussregime nicht durch groessere Seen im Einzugsgebiet modifiziert;
4. eine empirisch festgelegte notwendige Beobachtungszeit wird erreicht oder ueberschritten: die Berechnungsgrundlage bildet eine Formel von ROSENBERG(1979);
5. Einzugsgebiet autochthon: nach GRIMM(1968,1:19) klammert "eine Typisierung als Ausdruck des Zusammenwirkens der Geofaktoren die grossen Fluesse aus und betrachtet nur die Abflussregimes autochthoner Fluesse". Fuer schweizerische Verhaeltnisse sind in einem mittleren Betrachtungsmassstab Einzugsgebietsgrossen zwischen 10 und 500 km² zur Typisierung geeignet.

Obwohl die WMO(1977) fuer die Untersuchung von klimatischen und hydrologischen Erscheinungen die Benutzung des Zeitabschnittes 1931-1960 als Standardperiode empfiehlt, werden alle Messreihen ab 1917, die die obgenannten Kriterien erfuellen, fuer die vorliegende Untersuchung verwendet. Dies aus folgenden Gruenden:

- die rege Bautaetigkeit zur Ausnuetzung der Wasserkraefte im Alpenraum fuehrt vor allem waehrend der Standardperiode 1931-60 zu inhomogenen Messreihen;
- fuer eine Abflussregimetypisierung ist eine hohe Messnetzdicke vorrangig; dies gilt in noch verstaerktem Masse fuer die angestrebte Regionalisierung der Schweiz aufgrund der Regimetypen, wo moeglichst viele Stuetzstellen fuer die raeumliche Interpolation eine Notwendigkeit bedeuten;

- ab 1917 wird im schweizerischen Messnetz vielerorts die Pegelablesung durch die kontinuierliche Aufzeichnung des Wasserstandes abgelöst. Zudem ist durch die Herausgabe des "Hydrologischen (Hydrographischen) Jahrbuches" eine gewisse Kontinuität der Messungen nun gewährleistet.

Insgesamt stehen für die Regimetypisierung und die Raumgliederung 102 repräsentative Einzugsgebiete zur Verfügung.

Mit den Abflussregimes der Schweiz befassten sich bisher PARDE(1920,1933), WALSER(1960), GRIMM(1968), KELLER(1968), GAUDET(1975) und SCHMIDT(1981). Diese Arbeiten behandeln Teilaspekte, einzelne Regionen oder sind in sehr kleinem Massstab gehalten. Sie vermitteln einen wertvollen Einblick in die Problematik und die Vielfalt der schweizerischen Abflussregimes. So lässt sich der Grad der "Komplexität eines Abflussregimes" nach PARDE(1933) für eine Grundtypisierung der Schweiz ausnutzen:

Unter "Komplexität" versteht PARDE die Anzahl der Maxima und Minima einer Regimekurve: der Kurvenverlauf einfacher Regimes ist eingipflig, jener komplexer Regimes mehrgipflig. Diese Komplexitätsstufen eignen sich gut zur Abgrenzung von Grundtypen der Regimes, da hinter ihnen unterschiedliche Steuermechanismen stecken: Ein einfaches Regime weist einen dominanten oder aber mehrere, gleichzeitig auftretende Steuerfaktoren auf; komplexe Regimes hingegen unterliegen mehreren, zeitlich unterschiedlich wirkenden Steuerfaktoren.

Im schweizerischen Rahmen unterscheiden sich eingipflige und mehrgipflige Regimes in einigen räumlichen und nicht-räumlichen Parameter deutlich:

- Höhenabhängigkeit: Das Auftreten von ein- oder mehrgipfligen Abflussregimes ist von der Höhenlage der Einzugsgebiete abhängig: Einzugsgebiete mit eingipfligen Regimes liegen signifikant höher als solche mit mehrgipfligen Regimes.
- Variationskoeffizienten: mehrgipflige Regimes weisen durchschnittlich bedeutend grössere monatliche Variationskoeffizienten auf.
- Variationsbreite: Der Mittelwert der Variationsbreite der Regimekurven ist bei den eingipfligen Regimes signifikant grösser als bei den mehrgipfligen: eingipflige Regimes weisen einen sehr ausgeprägten mittleren Jahresgang auf; bei den mehrgipfligen hingegen ist er ausgeglichener.

Unter Einbezug der Untersuchung von WALSER(1960) und der mittleren Einzugsgebietshöhe als Trennkriterium lässt sich mit den Komplexitätsstufen von PARDE folgende regionale Grundgliederung der Schweiz aufzeigen:

1. nordalpine eingipflige Regimes: mittl. Einzugsgebietshöhe > 1550 m
==> A L P I N E REGIMES
2. nordalpine mehrgipflige Regimes: mittl. Einzugsgebietshöhe < 1550 m
==> M I T T E L L A E N D I S C H -
J U R A S S I S C H E REGIMES
3. Da sich die mittlere Einzugsgebietshöhe auf der Alpensüdseite als schlechtes Trennkriterium ein- und mehrgipfliger Regimes erweist, wird die suedalpine Zone als Einheit betrachtet:
==> S U E D A L P I N E REGIMES

Die nordalpine Zone umfasst die Einzugsgebiete des Rheins, der Limmat, der Reuss, der Aare, der Rhone und des Inn; die suedalpine Zone jene des Ticino, der Adda und des Adige.

Typisierungsansätze

Bei den konventionellen Typisierungsansätzen werden eine Variablenhierarchie definiert und die Beobachtungen mit Hilfe von Schwellenwerten klassiert. Die Schwierigkeiten bei diesen Verfahren liegen in der Definition der Variablenhierarchie und im Festlegen der Schwellenwerte. Die in der Regionalanalyse häufig angewandten Verfahren der Distanzgruppierung weisen diese Schwächen nicht auf: anstelle von gesetzten Schwellenwerten wird die tatsächliche Verteilung der Variablen für die Abgrenzung verwendet. Zudem sind alle Variablen gleichberechtigt, d.h. eine Variablenhierarchie existiert nicht. Die Anwendung für eine Regimetypisierung zeigt aber, dass diese Verfahren andere Schwächen aufweisen: so kann die notwendige Transformation der Daten (Standardisierung, Normierung, Normalverteilung) das Klassifikationsergebnis in kaum vorhersagbarer Weise beeinflussen.

Für die Typisierung der schweizerischen Regimes wird deshalb ein **kombinierter Typisierungsansatz** vorgeschlagen: mit einer statistischen Datenanalyse wird untersucht, welche hydrologischen Kenngrößen oder Parameter der Abflussganglinie zu einer Differenzierung von Regimes beitragen. Hier wird wie bei den Distanzgruppierungsverfahren die tatsächliche Verteilung der Variablen mitberücksichtigt. In einem zweiten Schritt werden aufgrund der Resultate der Datenanalyse eine Variablenhierarchie und Schwellenwerte festgelegt. Mit diesem Ansatz kann auch die bei den Distanzgruppierungsverfahren als nachteilig empfundene, starre Gleichberechtigung der Variablen aufgewogen werden.

Es erweist sich als notwendig, für die drei Grundtypen verschiedene Typisierungskriterien zu verwenden:

I. Alpenraum

Die Abgrenzung des Alpenraumes in unserem Sinn ist durch die Grundtypisierung gegeben; die mittlere Höhe der Einzugsgebiete liegt über 1550 m. Ihre mittleren Abflussganglinien weisen einen eingipfligen Kurvenverlauf auf. Die Typisierung erfolgt in Anlehnung und Ausweitung einer Arbeit von GAUDET(1975). Die Grundidee fusst auf der Erkenntnis, dass bei alpinen Einzugsgebieten die entscheidenden Prozesse in den Monaten Mai bis September ablaufen (70-90% der Jahresabflussfracht). Eine Typisierung der alpinen Abflussregimes muss primär auf diesen Monaten beruhen; die Minimalabflüsse zwischen Dezember und März tragen nichts zur Unterscheidung von Regimes bei.

In einem ersten Typisierungsschritt werden die Abflusskoeffizienten der Monate Mai bis September nach ihrer Grösse geordnet. Es entstehen charakteristische Rangfolgen, welche die vier alpinen Regimetypen ergeben. Die begriffliche Ansprache dieser Regimetypen erfolgt aufgrund der Rangplätze der glazialen und nivalen Monate:

| | | |
|------------------------|----------------------------------|------|
| GLACIAIRE: | Juli - August - Juni - September | |
| GLACIO-NIVAL: | Juli - Juni - August - Mai | oder |
| | Juni - Juli - August - Mai | |
| NIVO-GLACIAIRE: | Juni - Juli - Mai - August | |
| NIVAL ALPIN: | Juni - Mai - Juli - August | oder |
| | Mai - Juni - Juli - August | |

Sämtliche alpinen Regimes können mit diesen vier Regimetypen erfasst werden. Einzugsgebiete mit der gleichen monatlichen Rangfolge lassen eine grosse Ähnlichkeit ihrer Regimekurven erkennen und weisen damit eine enge Verwandtschaft im hydrologischen Gesamtverhalten auf. Innerhalb dieser Regimetypen sind gewisse Unterschiede feststellbar. Mit einer 'Einfachen Varianzanalyse' werden

Mittelwertsunterschiede zwischen benachbarten Monatskoeffizienten untersucht. Die Signifikanz oder die Nicht-Signifikanz liefert bei den glazial und glazionival geprägten Regimes ein weiteres Typisierungskriterium: diese Regimatypen werden in Untertypen gegliedert.

II. Mittelland und Jura

Die räumliche Abgrenzung von Mittelland und Jura gegenüber den Alpen ist durch eine mittlere Einzugsgebietshöhe von 1550 m gegeben: die Abflussregimes des Mittellandes und des Jura, die unterhalb dieser Grenze liegen, weisen durchwegs einen mehrgipfligen Kurvenverlauf auf. Im Unterschied zum alpinen Raum ist nun das starke Abweichen der Einzeljahre vom langjährigen Periodenmittel ein charakteristisches Merkmal dieser Regimes. Die hauptsächlichen Gründe dafür liegen in den zeitlich unterschiedlich wirkenden Steuerfaktoren. Der Schneeschmelze, die je nach Schneerücklage und Temperaturverlauf früher oder später, kurz oder lang ausfallen kann, steht mit dem Niederschlag ein im Einzeljahr oft gleichwertiges oder sogar dominierendes Steuerelement gegenüber. Daneben erhalten auch hydrogeologische Speichermechanismen eine weit größere Bedeutung als im Alpenraum. Trotz ihrer schlechten zeitlichen Repräsentativität ist eine Typisierung aufgrund der Mittelwerte sinnvoll, da innerhalb eines Regimetyps die Einzeljahre ein sehr ähnliches Abflussverhalten zeigen, und die Mittelwertskurve, so interpretiert, das räumliche Verteilungsmuster beschreibt. Damit werden mit einer Typisierung, die auf den Mittelwertskurven basiert, auch im Mittelland und Jura Einzugsgebiete mit gleichem Abflussverhalten im Einzeljahr zu Regionen zusammengefasst. Anders als im alpinen Raum wird es aber schwieriger wenn nicht gar unmöglich sein, vom mittleren Abflussverhalten auf das Verhalten im Einzeljahr zu schließen.

Die hierarchische Anwendung von drei Typisierungskriterien:

1. Lage des Abflussminimums (Winter- oder Sommerhalbjahr),
2. Lage des abflussreichsten Doppelmonats (maximale Abflussfracht zweier benachbarter Monate),
3. Variationsbreite der Regimes (Differenz zwischen mittlerem maximalem und minimalem Abflusskoeffizienten),

führt zu sechs Regimetypen bzw. Untertypen im Mittelland und Jura.

III. Suedalpen

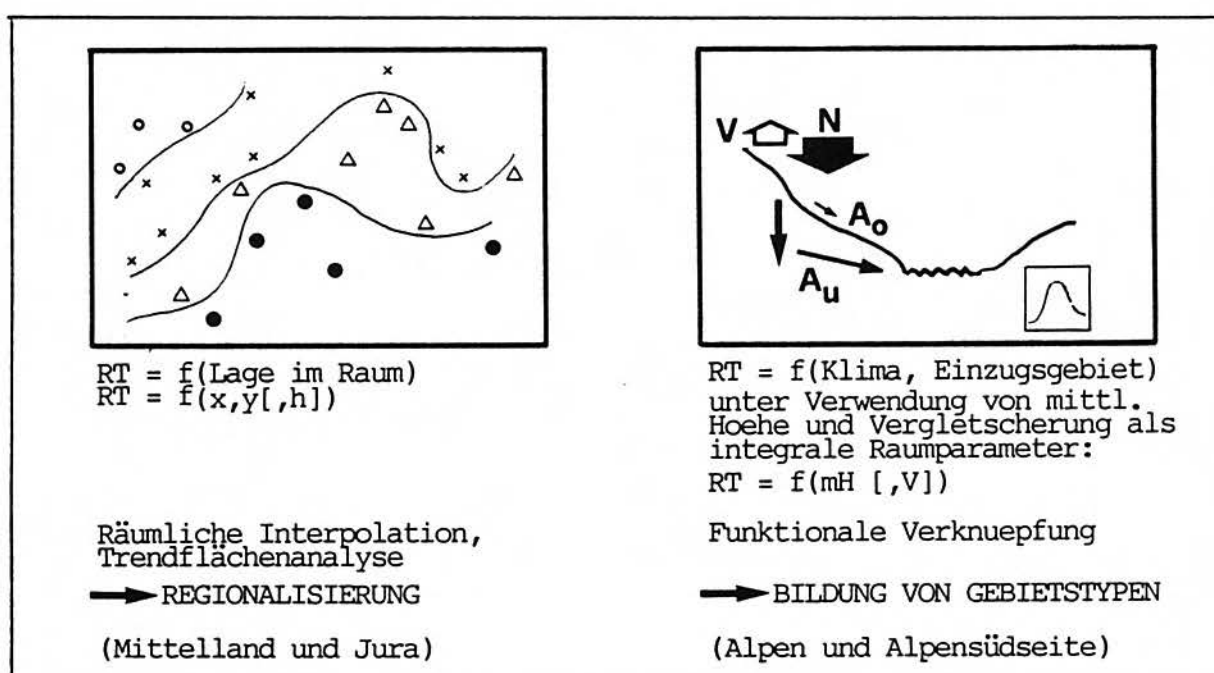
Die suedalpine Zone umfasst die Einzugsgebiete des Ticino, der Adda und des Adige. Gemäss der Grundtypisierung wird aufgrund der besonderen klimatischen Verhältnisse und aufgrund der starken räumlichen Verzahnung ein- und mehrgipfliger Abflussregimes nicht weiter zwischen ihnen unterschieden. Bei Einzugsgebieten über 2300 m mittlerer Höhe und mit Vergletscherungswerten von über 6% werden die alpinen Typisierungskriterien übernommen, da es keinen Grund zur Annahme gibt, dass sie sich wesentlich anders verhalten als entsprechende Einzugsgebiete auf der Alpennordseite. Die starke pluviale Beeinflussung unterhalb 2300 m mittlere Höhe führt jedoch zu eigenständigen suedalpinen Regimetypen, die in den höheren Lagen mit Hilfe der Rangfolge der maximalen Monatsabflüsse und in den tieferen Lagen mit folgenden zwei Typisierungskriterien differenziert werden können:

1. Variationsbreite der Regimes,
2. Nivalitätskoeffizient, der das Abflussverhalten der Monate April bis Juni beschreibt.

Das gegenueber Mittelland und Jura staerker ausgepraegte sekundaere Maximum im Herbst wird aus Genauigkeitsueberlegungen nicht als Typisierungskriterium verwendet. Neben den glazialen und glazionivalen Abflussregimes treten auf der Alpensuedseite vier weitere Regimetypen auf.

2.2. DIE SCHWEIZERISCHEN ABFLUSSREGIMES IM UEBERBLICK

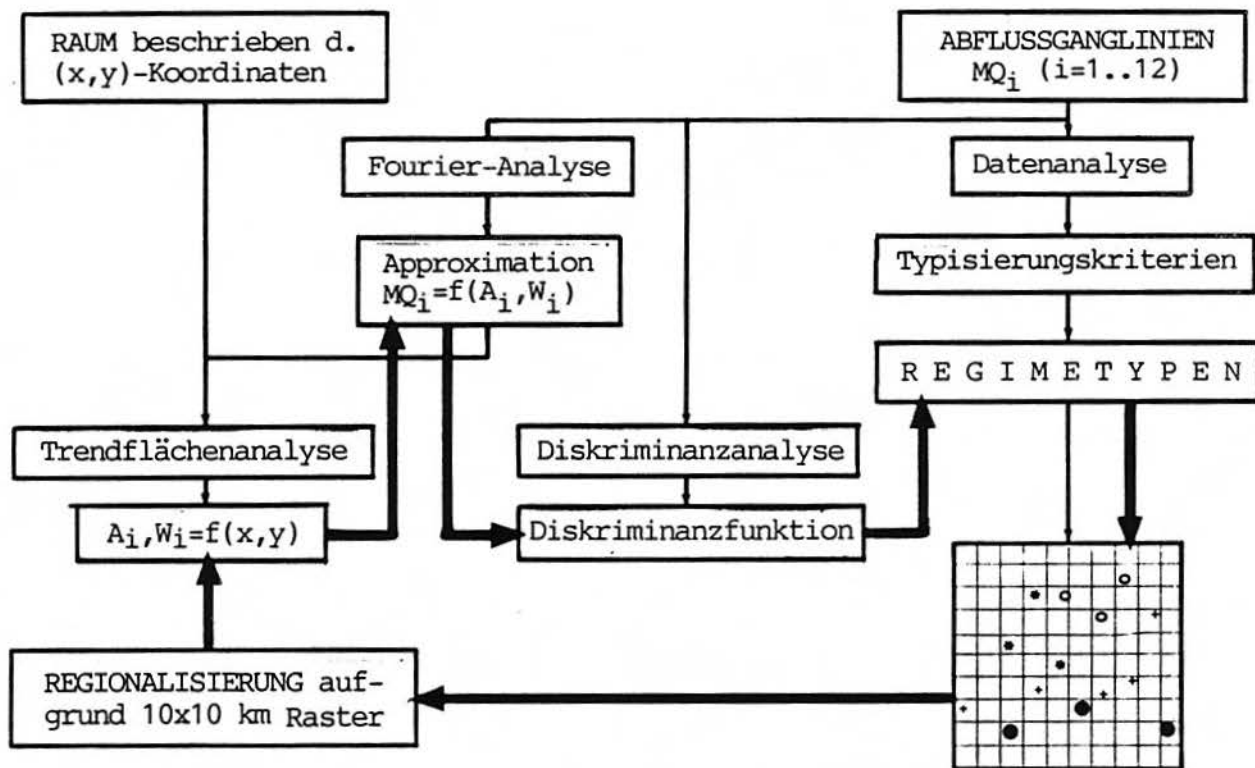
Aufgrund der raeumlich differenzierten Typisierungskriterien werden 16 Regimetypen und Untertypen ausgeschieden. Fuer die Bezeichnung der Typen werden - wegen ihrer Praegnanz - franzoesische Begriffe verwendet, welche die Steuerfaktoren und den Raum ansprechen.



Figur 1. Moeglichkeiten der Umsetzung REGIME ==> RAUM
 (RT=Regimetyp, mH=mittlere Hoehe, V=areale Vergletscherung)

Der im Hinblick auf die Bildung von **Regionen** (Regionalisierung im engeren Sinne) oder von **Gebietstypen** notwendige Raumbezug der Regimetypen kann hergestellt werden. Die zwei grundsaeztlichen Moeglichkeiten sind in Figur 1 dargestellt: Im Alpenraum und in den hoeheren Lagen der Alpensuedseite geschieht dies durch die Verwendung der arealen Vergletscherung und der mittleren Einzugsgebiets-hoehe als zwei Parameter integralen Charakters. Die Angabe von raeumlichen Schwellenwerten gestattet es, das Abflussregime auch in ungemessenen Gebieten abzuschaeetzen. Die glaziale Praegung der Einzugsgebiete, die einen kontinuierlichen Regimewandel entlang eines Flusslaufes verursacht, laesst eine Regionalisierung im engeren Sinne nicht zu (fehlende Kontingenz der Raumeinheiten). Wir sprechen im Alpenraum deshalb von Gebietstypen.

Die raeumliche Einordnung der Regimetypen im Mittelland und Jura erfolgt durch eine FOURIER-Analyse mit anschliessender Trendflaechen- und Identifika-



Figur 2. Regionalisierung der Abflussregimes im Mittelland und Jura
 MQ langjaehrige Monatsmittel des Abflusses
 A Amplituden der FOURIER-Gleichung
 W Phasenwinkel der FOURIER-Gleichung
 → Analyseschritte
 → Regionalisierungsschritte

tionsanalyse. Grundlage dazu bildet ein 10 km-Raster. Dieser aufwendige Weg, dargestellt in Figur 2, ist notwendig, weil es mit einfachen Raumparameter nicht moeglich ist, die Regimetypen raeumlich optimal zu trennen. Aufgrund des gewaehlten Verfahrens resultieren in diesem Bereich des Untersuchungsgebietes Regionen.

In den mittleren und tieferen Lagen der Alpensuedseite hat sich die mittlere Einzugsgebietshoehe als trennscharfer raeumlicher Parameter erwiesen.

Die Resultate sind zusammenfassend in Tabelle 1 dargestellt.

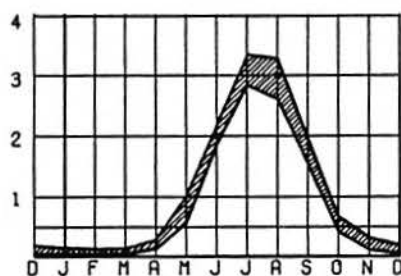
Tabelle 1. Die schweizerischen Abflussregimes und ihre räumliche Einordnung

| | REGIMETYP / REGIMEUNTERTYP | H A U P T V E R B R E I T U N G S G E B I E T | |
|-----------------------|-------------------------------|--|----------------------------|
| | | mittlere Höhe | Vergletscherung |
| A L P I N | a-glaciaire | >2400 m | >36 % (Inn: <30 %) |
| | b-glaciaire | >2100 m | 22-40 % (Inn: 20-30 %) |
| | a-glacio-nival | >2000 m | 12-22 % (Inn: 12-20 %) |
| | b-glacio-nival | >2300 m | 1-12 % (Inn: 6-12 %) |
| | nivo-glaciaire | 1900-2300 m | 6-12 % |
| | | 1900-2300 m (Inn: >2300 m) | 1- 6 % |
| | nival alpin | 1550-1900 m >1900 (Inn: >2300) m 1550-1900 m | 3-12 % 0- 1 % 0- 3 % |
| M L | nival de transition | ca. 1200-1550 m | |
| | nivo-pluvial préalpin | ca. 900-1350 m | |
| | pluvial supérieur | ca. 700- 900 m | |
| | pluvial inférieur | ca. < 750 m | |
| J U | nivo-pluvial jurassien | ca. 800-1100 m | |
| | pluvial-jurassien | ca. < 900 m | |
| S - A L P | nival méridional | 1800-2300 m | 0- 6 % |
| | nivo-pluvial méridional | 1200-1800 m | |
| | pluvio-nival méridional | 700-1200 m | |
| | pluvial méridional | 300- 700 m | |

ALPIN Alpiner Grundtyp >1550 m mittlerer Einzugsgebietshöhe
 ML, JU Mittellaendisch-jurassischer Grundtyp < 1550 m mittlerer Höhe
 S-ALP Suedalpiner Grundtyp (Einzugsgebiete Ticino, Adda, Etsch)

2.2.1. ALPINE ABFLUSSREGIMES

'REGIMES GLACIAIRES'



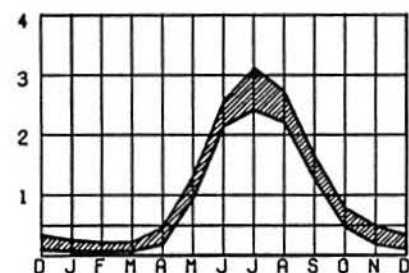
| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.03-0.14 | 16-32 % |
| FEB | 0.03-0.14 | 14-32 % |
| MAR | 0.03-0.14 | 14-32 % |
| APR | 0.03-0.14 | 14-32 % |
| MAY | 0.03-0.14 | 14-32 % |
| JUN | 0.03-0.14 | 14-32 % |
| JUL | 0.03-0.14 | 14-32 % |
| AUG | 0.03-0.14 | 14-32 % |
| SEP | 0.03-0.14 | 14-32 % |
| OCT | 0.03-0.14 | 14-32 % |
| NOV | 0.03-0.14 | 14-32 % |
| DEZ | 0.03-0.14 | 14-32 % |

REPRESENTATIVE STATIONEN

| | |
|------------------------|---------|
| Kander, Gasterntal | 1950-80 |
| Lonza, Blatten | 1956-80 |
| Massa, Massaboden | 1924-64 |
| Rhone, Gletsch | 1956-80 |
| Rosengbach, Pontresina | 1960-80 |

Das 'régime a-glaciaire' wird durch die Rangfolge der Monatsabflüsse JUL-AUG>JUN-SEP beschrieben, wobei sich Juli und August nicht signifikant unterscheiden: die glazialen Schmelzwasserabflüsse verteilen sich gleichmässig auf diese beiden Monate (bis zu 60% der Jahresabflussmenge). Die maximalen Abflusskoeffizienten (AK) schwanken zwischen 2.80-3.40. Die Minimalabflüsse erstrecken sich vom Dezember bis zum März und unterscheiden sich kaum. Betragsmässig erreichen sie maximal knapp 20% des mittleren Jahresabflusses.

Das 'régime a-glaciaire' tritt ab einer arealen Vergletscherung von 36% (Inngebiet: 30%) bei mittleren Einzugsgebietshöhen von ueber 2400 m auf.



| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.07-0.25 | 19-35 % |
| FEB | 0.07-0.25 | 17-35 % |
| MAR | 0.07-0.25 | 17-35 % |
| APR | 0.07-0.25 | 17-35 % |
| MAY | 0.07-0.25 | 17-35 % |
| JUN | 0.07-0.25 | 17-35 % |
| JUL | 0.07-0.25 | 17-35 % |
| AUG | 0.07-0.25 | 17-35 % |
| SEP | 0.07-0.25 | 17-35 % |
| OCT | 0.07-0.25 | 17-35 % |
| NOV | 0.07-0.25 | 17-35 % |
| DEZ | 0.07-0.25 | 17-35 % |

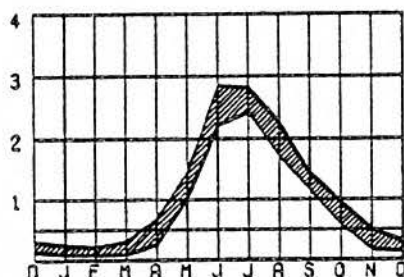
REPRESENTATIVE STATIONEN

| | |
|------------------------|---------|
| Alpbach, Erstfeld | 1961-80 |
| Borone, La Luetz | 1929-62 |
| Orance d.B., L. Chable | 1922-62 |
| Kander, Kandersteg | 1917-80 |
| Linth, Tiefel | 1918-61 |
| Simme, Oberried | 1949-80 |

Das 'régime b-glaciaire' weist die gleiche Rangfolge der Monatsabflüsse wie das 'régime a-glaciaire' auf, wobei sich nun auch JUL/AUG und JUN/SEP in ihren Mittelwerten signifikant unterscheiden: die Schneeschmelze setzt frueher ein, was zu einer Daempfung der Abflussspitze im Juli (AK: 2.40-3.10) und besonders im August fuehrt. Bezueglich des Abflussverhaltens in den Wintermonaten sind kaum Unterschiede zum 'régime a-glaciaire' festzustellen.

Das Hauptverbreitungsgebiet liegt ueber 2100 m mittlerer Hoehe bei arealen Vergletscherungen zwischen 22 und 40% (Inngebiet: 20-30%).

'REGIMES GLACIO-NIVALS'



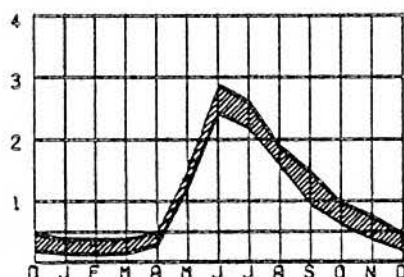
| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.09-0.24 | 19-45 % |
| FEB | 0.08-0.21 | 20-48 % |
| MAR | 0.09-0.21 | 20-46 % |
| APR | 0.25-0.69 | 20-33 % |
| MAI | 1.02-1.46 | 18-20 % |
| JUN | 2.20-2.84 | 12-20 % |
| JUL | 2.40-2.80 | 9-17 % |
| AUG | 1.71-2.24 | 9-22 % |
| SEP | 1.15-1.44 | 13-34 % |
| OKT | 0.97-0.95 | 22-36 % |
| NOV | 0.16-0.49 | 25-38 % |
| DEZ | 0.14-0.30 | 20-42 % |

REPRESENTATIVE STATIONEN

| | |
|---------------------------|---------|
| Berninabach, Pontresina | 1955-80 |
| Orance d.F., Branche d'h. | 1957-73 |
| Engelberder A., Engalb. | 1959-71 |
| Ferreraabach, Trun | 1963-80 |
| Gornernbach, Kiental | 1963-80 |
| Hinterrein, Hinterrhein | 1945-80 |
| Inn, St. Moritz-Bad | 1917-80 |
| Luetschine, Gsteig | 1924-80 |
| W. Luetschine, Z'luets | 1933-80 |
| Witenwass.-Reuss, Realp | 1957-80 |

Das 'regime a-glacio-nival' und das 'regime b-glacio-nival' sind eigentliche Uebergangsregimes, bei denen sich Juli und Juni als Monate des maximalen mittleren Monatsabflusses abloesen. Das 'regime a-glacio-nival' zeigt meistens die Rangfolge JUL-JUN>AUG>MAI. Die Abflussspitze liegt mehrheitlich im Juli (AK: 2.40-2.80); der Monat Mai verdraengt infolge der zunehmenden Bedeutung der nivalen Prozesse in der Rangfolge den Monat September. Die Minimalabfluesse konzentrieren sich nun auf die Monate Januar bis Maerz.

Die Einzugsgebiete liegen im allg. noch auf einer mittleren Hoehe von ueber 2000 m, doch die Vergletscherungswerte betragen weniger als 20% (12-22%, Inn-gebiet: 12-20%).



| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.14-0.38 | 16-36 % |
| FEB | 0.12-0.37 | 14-34 % |
| MAR | 0.14-0.38 | 12-43 % |
| APR | 0.28-0.48 | 22-64 % |
| MAI | 1.22-1.50 | 27-43 % |
| JUN | 2.22-2.87 | 9-22 % |
| JUL | 2.19-2.60 | 16-35 % |
| AUG | 1.57-1.88 | 17-34 % |
| SEP | 0.94-1.46 | 15-37 % |
| OKT | 0.61-0.96 | 10-34 % |
| NOV | 0.36-0.74 | 28-48 % |
| DEZ | 0.19-0.45 | 16-26 % |

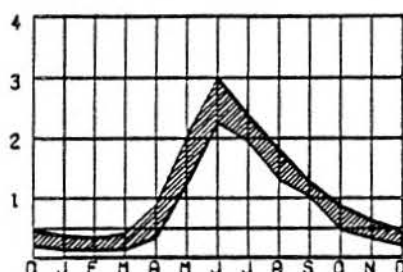
REPRESENTATIVE STATIONEN

| | |
|--------------------------|---------|
| Dischmabach, Davos | 1964-80 |
| Inn, Sils | 1921-32 |
| Reuss, Andermatt | 1919-45 |
| Salante, Montagne d. S. | 1929-49 |
| Somvixer Rh., A. Sutlat. | 1932-74 |

Das 'regime b-glacio-nival' zeichnet sich durch die Rangfolge JUN-JUL>AUG>MAI aus. Die Abflussspitze faellt stets auf den Juni; die beiden Hauptsteuerfaktoren - Schneeschmelze und Gletscherschmelze - sind fuer den Maximalabfluss aber noch von gleich grosser Bedeutung (AK[Jun]: 2.40-2.90, AK[Jul]: 2.20-2.60). Die winterlichen Abfluesse nehmen gegenueber dem 'regime a-glacio-nival' leicht zu (maximal 40% des langjaehrigen Abflussmittels); sie bleiben aber waehrend der Monate Januar bis Maerz nahezu konstant.

Die Einzugsgebiete dieses Regimetyps liegen im allgemeinen ueber 2000 m mittlerer Hoehe; die areale Vergletscherung liegt zwischen 6-12% bzw. zwischen 1-12% bei Einzugsgebieten ueber 2300 m mittlerer Hoehe.

'REGIME NIVO-GLACIAIRE'



| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.13-0.37 | 18-30 % |
| FEB | 0.13-0.37 | 18-30 % |
| MAR | 0.13-0.37 | 18-30 % |
| APR | 0.13-0.37 | 18-30 % |
| MAI | 1.00-2.00 | 20-40 % |
| JUN | 2.25-3.00 | 20-40 % |
| JUL | 1.00-2.00 | 20-40 % |
| AUG | 1.00-2.00 | 20-40 % |
| SEP | 0.13-0.37 | 18-30 % |
| OKT | 0.13-0.37 | 18-30 % |
| NOV | 0.13-0.37 | 18-30 % |
| DEZ | 0.13-0.37 | 18-30 % |

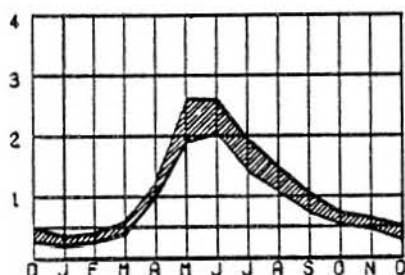
REPRESENTATIVE STATIONEN

| | |
|------------------------|---------|
| Albula, Tiefencastel | 1926-80 |
| Engelberger Aa, Bueren | 1926-80 |
| Ennstal, Ennstalalp | 1926-80 |
| Hinterhorn, Andser | 1926-80 |
| Julia, Tiefencastel | 1926-80 |
| Schächen, Bueren | 1926-80 |
| Tamina, Vaettis | 1926-80 |

Das 'regime nivo-glaciaire' zeigt in den Monatsabflüssen im Bereich des Abflussmaximums die Rangfolge JUN>JUL>MAI-AUG. Wie aus der Regimebezeichnung und der Rangfolge hervorgeht, ist die führende Rolle des nivalen Monats Juni nun unbestritten (AK: 2.25-3.00). Die Zunahme der Nivalität zeigt sich ferner im Rangtausch zwischen Mai und August gegenüber dem 'regime b-glacio-nival'. Die Minimalabflussperiode umfasst immer noch die Monate Januar bis März; die Abflüsse betragen maximal 40% des langjährigen mittleren Jahresabflusses.

Die mittlere Höhe der Einzugsgebiete dieses Regimetyps variiert von 1550 bis 2300 m; die Vergletscherung dieser Einzugsgebiete erreicht höchstens noch 12 %.

'REGIME NIVAL ALPIN'



| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.20-0.35 | 25-51 % |
| FEB | 0.25-0.41 | 35-58 % |
| MAR | 0.38-0.60 | 31-40 % |
| APR | 0.99-1.23 | 22-41 % |
| MAI | 1.88-2.60 | 19-23 % |
| JUN | 2.04-2.59 | 15-29 % |
| JUL | 1.40-1.94 | 16-36 % |
| AUG | 1.07-1.67 | 16-30 % |
| SEP | 0.72-1.05 | 24-40 % |
| OKT | 0.53-0.72 | 33-48 % |
| NOV | 0.45-0.63 | 39-75 % |
| DEZ | 0.27-0.49 | 27-56 % |

REPRESENTATIVE STATIONEN

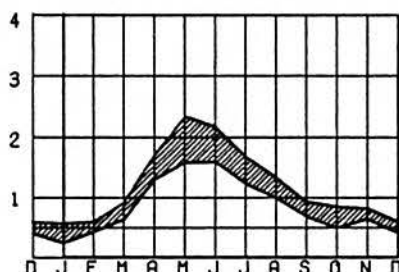
| | |
|------------------------|---------|
| Allenbach, Adalboden | 1950-80 |
| Filderich, Riedli | 1954-81 |
| Grosstalbach, Isenthal | 1957-80 |
| Muota, Ingenbohl | 1923-80 |
| Plessur, Chur | 1931-80 |

Das 'regime nival alpin' zeigt die beiden Rangfolgen JUN-MAI>JUL>AUG und MAI-JUN>JUL>AUG. Die Maximalabflüsse der Monate Mai oder Juni erreichen mit mittleren Koeffizienten von 2.1-2.3 nicht mehr die Intensität der Maximalabflüsse der übrigen alpinen Regimetypen. Die Minimalabflüsse konzentrieren sich auf die Monate Januar und Februar; sie sind i.allg. höher als bei den andern alpinen Regimetypen.

Das 'regime nival alpin' schliesst die eingipfligen Abflussregimes mit mittleren Einzugsgebietshöhen von über 1550 m ab. Dieser Regimetyp ist in unvergletscherten oder nahezu unvergletscherten (maximal 3%) Einzugsgebieten oberhalb 1550 m zu erwarten.

2.2.2. ABFLUSSREGIMES DES MITTELLANDES UND DES JURA

'REGIME NIVAL DE TRANSITION'



| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.24-0.56 | 43-63 % |
| FEB | 0.42-0.60 | 37-66 % |
| MAR | 0.60-0.91 | 30-40 % |
| APR | 1.20-1.70 | 37-55 % |
| MAI | 1.50-2.10 | 31-40 % |
| JUN | 1.30-2.10 | 30-40 % |
| JUL | 0.90-1.10 | 30-40 % |
| AUG | 0.60-0.80 | 30-40 % |
| SEP | 0.40-0.60 | 30-40 % |
| OKT | 0.40-0.60 | 30-40 % |
| NOV | 0.64-0.80 | 40-63 % |
| DEZ | 0.40-0.59 | 40-63 % |

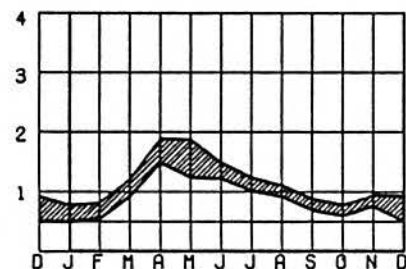
REPRESENTATIVE STATIONEN

| | |
|-------------------|---------|
| Grande Eau, Aigle | 1935-56 |
| Minster, Euthal | 1961-80 |
| Sihl, Untertosen | 1921-36 |
| Simme, Oberwil | 1921-80 |
| Sitter, Appenzell | 1923-67 |
| Thur, Stein | 1964-80 |

Das 'régime nival de transition' bildet den Uebergang von den alpinen zu den mittellaendischen Regimes. Es ist gekennzeichnet durch die Dominanz des Doppelmonats MAI/JUN; das Abflussmaximum faellt auf die Monate Mai oder Juni und kann vereinzelt einen Abflusskoeffizienten > 2 aufweisen. Das Abflussminimum tritt in den Monaten Dezember (selten), Januar (meistens) oder Februar (selten) auf und unterschreitet haeufig 0.5 MQ[Periodel]. Die Verwandtschaft zu den alpin-nivalen Abflussregimes ist gross. Der wesentliche Unterschied liegt im Auftreten eines sekundaeren Maximums im November und in der zunehmenden Bedeutung des Monats April im Jahresgang des Abflusses. Das sekundaere Maximum ist noch wenig ausgepraegt.

Das 'régime nival de transition' tritt zwischen 1200 und 1550 m mittlerer Einzugsgebietshoehe auf. Im Westen liegt die Untergrenze etwas hoeher.

'REGIME NIVO-PLUVIAL PREALPIN'



| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.48-0.77 | 48-72 % |
| FEB | 0.31-0.81 | 30-91 % |
| MAR | 0.29-1.01 | 30-55 % |
| APR | 1.24-1.86 | 30-44 % |
| MAI | 1.22-1.86 | 31-60 % |
| JUN | 0.62-1.23 | 29-55 % |
| JUL | 0.61-1.10 | 29-55 % |
| AUG | 0.60-0.77 | 44-61 % |
| SEP | 0.39-0.67 | 31-62 % |
| OKT | 0.35-0.64 | 31-85 % |
| NOV | 0.50-0.91 | 42-99 % |
| DEZ | | |

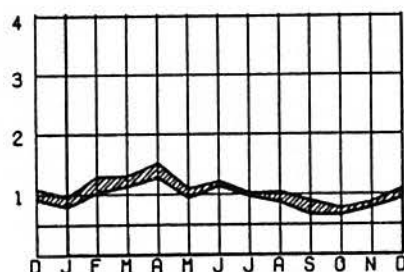
REPRESENTATIVE STATIONEN

| | |
|-----------------------------|---------|
| Alp, Trachslau | 1925-50 |
| Saane d. Montreux, Montreux | 1933-73 |
| Emme, Eggiwil | 1931-74 |
| Emme, Emmenmatt | 1920-80 |
| Kl. Emme, Malters | 1936-77 |
| Necker, Necker | 1917-33 |
| Sense, Thoenishaus | 1928-76 |
| Thur, Buetschwil | 1922-74 |
| Urnaesch, Hundwil | 1962-80 |

Das 'régime nivo-pluvial préalpin' ist gekennzeichnet durch die Dominanz des Doppelmonats APR/MAI im Bereich des Abflussmaximums und durch ein Abflussminimum in den Monaten Dezember bis Februar. Die Hauptunterschiede zum 'régime nival de transition' liegen im frueheren Auftreten des Maximums und in der weniger ausgepraegten mittleren Regimekurve. Im uebrigen sind sich die beiden vorwiegend durch die Schneeschmelze gesteuerten Regimes aehnlich. Die abflussreichsten Monate April und Mai erreichen nicht mehr ganz die Intensitaet der Maximalabfluesse des 'régime nival de transition' (AK: 1.50-1.90). Das sekundaere Herbstmaximum hingegen ist staerker ausgepraegt, weil der Niederschlag des Spaetherbstes in dieser Hoeohenlage noch abflusswirksam wird. Das Abflussminimum tritt vorwiegend im Januar auf. Einige wenige, tiefer gelegene Einzugsgebiete - im Uebergangsbereich zum 'régime pluvial supérieur' - zeigen neben dem Winterminimum ein im Ausmass identisches Minimum im Sommerhalbjahr (AK: 0.50-0.80).

Das 'régime nivo-pluvial préalpin' tritt ab einer mittleren Einzugsgebietshoehe von 900 m auf. In der Westschweiz liegt diese Grenze ca. 100 m hoeher. Die Obergrenze wird bei 1350 m erreicht.

'REGIMES PLUVIALS DU PLATEAU SUISSE'



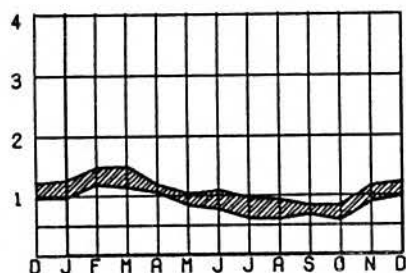
| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.78-0.95 | 42-56 % |
| FEB | 1.02-1.29 | 40-54 % |
| MAR | 1.17-1.50 | 37-49 % |
| APR | 1.03-1.09 | 33-43 % |
| MAI | 0.93-1.21 | 35-67 % |
| JUN | 1.13-1.01 | 40-55 % |
| JUL | 0.86-1.03 | 39-54 % |
| AUG | 0.69-0.88 | 40-81 % |
| SEP | 0.65-0.76 | 40-71 % |
| OCT | 0.67-0.87 | 37-88 % |
| NOV | 0.77-1.08 | 33-63 % |
| DEZ | 0.92-1.08 | 33-63 % |

REPRÄSENTATIVE STATIONEN

Glatt, Herisau 1961-80
Goldach, Goldach 1962-80
Steinach, Steinach 1962-80
Toess, Wülfelingen 1965-82

Mit dem Uebergang vom 'régime nivo-pluvial préalpin' zum 'régime pluvial supérieur' vollzieht sich die endgültige Verlagerung des Abflussminimums vom Winterhalbjahr ins Sommerhalbjahr. Maximale Monatsabflüsse treten beim maximalen Doppelmonat MRZ/APR mehrheitlich im April auf. Im langjaehrigen Mittel faellt neben der kleinen Variationsbreite der Regimes ($< 1 \text{ MQ[Periodel]}$) der unruhige Kurvenverlauf mit mehreren sekundaeren Maxima auf.

Das 'régime pluvial supérieur' ist nur oestlich des Zuerichsees stationenmaessig belegt. Es liegt zwischen 700 und 900 m mittlerer Einzugsgebietshoehe.



| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.96-1.26 | 30-70 % |
| FEB | 1.19-1.48 | 22-62 % |
| MAR | 1.14-1.50 | 26-64 % |
| APR | 1.05-1.18 | 23-47 % |
| MAI | 0.83-1.03 | 20-67 % |
| JUN | 0.76-1.09 | 28-64 % |
| JUL | 0.60-0.95 | 28-70 % |
| AUG | 0.59-0.92 | 38-81 % |
| SEP | 0.67-0.83 | 39-99 % |
| OCT | 0.57-0.83 | 27-70 % |
| NOV | 0.88-1.17 | 44-88 % |
| DEZ | 0.97-1.22 | 33-63 % |

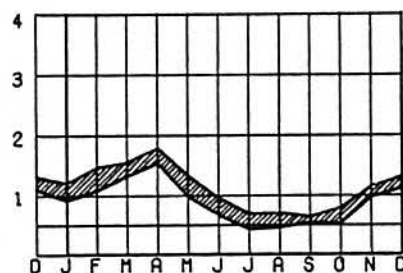
REPRÄSENTATIVE STATIONEN

Aach, Salmsach 1962-80
Biberenkanal, Kerzers 1966-80
Broye, Payerne 1967-80
Buerz, Othmarsingen 1967-80
Lanneten, Huttwil 1968-80
Langeten, Lotzwil 1968-80
Mud, Waengi 1968-80
Toess, Neftenbach 1968-80
Wyna, Unterkulm 1953-80

Das 'régime pluvial inférieur' ist dem 'régime pluvial supérieur' sehr verwandt. Im wesentlichen unterscheiden sich die beiden Untertypen nur in der Lage des Abflussmaximums und in der Dauer der Niedrigwasserabflussphase: der maximale Doppelmonat verschiebt sich vom MRZ/APR auf FEB/MRZ und die Niedrigwasserperiode dauert etwas laenger (September und Oktober). Der allgemeine Charakter der mittleren Abflusskurven mit sehr kleinen Variationsbreiten und mehreren sekundaeren Maxima ist auch bei diesem Typ vorhanden.

Das 'régime pluvial inférieur' tritt unterhalb von 750 m mittlerer Einzugsgebietshoehe auf. Die Abgrenzung westwaerts ist durch die Broye gegeben.

'REGIMES JURASSIENS'

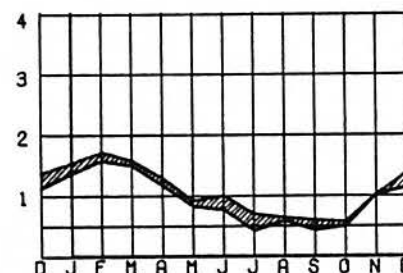


| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.91-1.21 | 46-67 % |
| FEB | 1.08-1.47 | 52-68 % |
| MRZ | 1.32-1.56 | 42-42 % |
| APR | 1.53-1.79 | 31-46 % |
| MAI | 0.98-1.33 | 39-56 % |
| JUN | 0.66-0.96 | 41-61 % |
| JUL | 0.42-0.69 | 46-65 % |
| AUG | 0.45-0.70 | 39-80 % |
| SEP | 0.54-0.64 | 59-90 % |
| OKT | 0.52-0.80 | 65-89 % |
| NOV | 0.97-1.16 | 57-92 % |
| DEZ | 1.11-1.31 | 47-70 % |

REPRÄSENTATIVE STATIONEN

| | |
|----------------------------|---------|
| Areuse, Champs d. Moulin | 1949-80 |
| Areuse, St. Sulpice | 1959-80 |
| Bied d. Locle, Ranconniere | 1964-80 |
| London, Malval | 1918-35 |
| Noirigue, Noirigue | 1959-79 |
| Suze, Sonceboz | 1961-80 |
| Venoge, Lussery | 1948-78 |

'REGIME NIVO-PLUVIAL JURASSIEN'



| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 1.35-1.54 | 55-61 % |
| FEB | 1.57-1.71 | 52-56 % |
| MRZ | 1.49-1.71 | 51-66 % |
| APR | 1.16-1.69 | 45-55 % |
| MAI | 0.82-0.91 | 57-58 % |
| JUN | 0.76-1.00 | 66-79 % |
| JUL | 0.41-0.69 | 67-72 % |
| AUG | 0.58-0.63 | 66-80 % |
| SEP | 0.42-0.59 | 81-99 % |
| OKT | 0.49-0.56 | 77-89 % |
| NOV | 1.01-1.02 | 73-89 % |
| DEZ | 1.12-1.37 | 55-59 % |

REPRÄSENTATIVE STATIONEN

| | |
|-----------------|---------|
| Ergolz, Liestal | 1934-80 |
| Sisseln, Eiken | 1959-80 |

'REGIME PLUVIAL JURASSIEN'

Die hauptsächlichen Kennzeichen der jurassischen Regimes sind das Abflussminimum in den Sommermonaten und Variationsbreiten, die auch in den tieferen Lagen 1 MQ[Periode] uebertreffen. Aufgrund des maximalen Doppelmonates (DM) werden weiter unterschieden:

1. max. DM Mrz/APr ==> 'régime nivo-pluvial jurassien'
2. max. DM Feb/MRZ ==> 'régime pluvial jurassien'

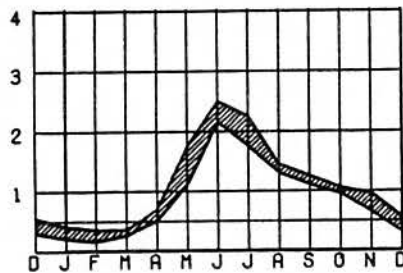
Auffallend beim 'régime nivo-pluvial jurassien' und etwas weniger ausgeprägt beim 'régime pluvial jurassien' ist das schnelle Abfallen der Regimekurve nach dem Abflussmaximum auf minimale Monatsabflüsse, die mehr oder weniger stark differenziert mehrere Monate dauern koennen. Neben der laengeren Dauer der Niedrigwasserabflüsse ist auch die relative Wasserfuehrung kleiner als bei den pluvialen Regimes des Mittellandes. Bei einem maximalen Doppelmonat MRZ/APR tritt das langjaehrige Abflussmaximum im April ein. Es ist im Ausmass (AK: 1.50-1.80) mit dem 'régime nivo-pluvial préalpin' vergleichbar (AK: 1.50-1.90). Das sekundaere Maximum im November oder Dezember ist stark ausgeprägt. Es erreicht rund drei Viertel der Intensitaet des Hauptmaximums (AK: 1.10-1.30).

Aehnliches gilt auch mit einem Unterschied fuer das 'régime pluvial jurassien': Bei einem maximalen Doppelmonat FEB/MRZ resultieren breitere Abflussspitzen mit Maximum im Februar.

Die beiden Regimetypen sind im Jura und in der Westschweiz verwirklicht: das 'régime nivo-pluvial jurassien' in Einzugsgebieten mit einer mittleren Hoehe von 800-1100 m, das 'régime pluvial jurassien' unterhalb 900 m. Zwischen 800 und 900 m existiert ein Uebergangsbereich, in dem beide Regimetypen auftreten koennen.

2.2.3. SUEDALPINE REGIMETYPEN

'REGIME NIVAL MERIDIONAL'

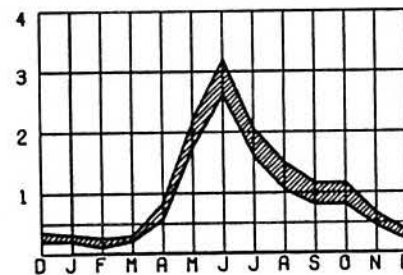


| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.20-0.40 | 19-28 % |
| FEB | 0.15-0.35 | 18-24 % |
| MARZ | 0.25-0.35 | 19-33 % |
| APR | 0.50-0.70 | 12-35 % |
| MAI | 1.10-1.75 | 24-34 % |
| JUN | 2.15-2.50 | 13-19 % |
| JUL | 1.75-2.25 | 15-27 % |
| AUG | 1.30-1.45 | 20-27 % |
| SEP | 1.10-1.25 | 18-40 % |
| OKT | 0.95-1.05 | 28-60 % |
| NOV | 0.65-0.95 | 38-54 % |
| DEZ | 0.30-0.55 | 19-27 % |

REPRÄSENTATIVE STATIONEN

| | |
|----------------------|---------|
| Bavona, Bignasco | 1929-53 |
| Brenno, Campra | 1920-50 |
| Brenno, Olivone | 1921-50 |
| Brenno, Ponte Semina | 1917-53 |
| Ticino, Piotta | 1925-45 |

'REGIME NIVAL MERIDIONAL' (GRUPPE A)



| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.20-0.30 | 24-31 % |
| FEB | 0.10-0.25 | 21-29 % |
| MARZ | 0.20-0.30 | 27-38 % |
| APR | 0.55-0.85 | 34-48 % |
| MAI | 1.75-2.20 | 22-35 % |
| JUN | 2.60-3.20 | 20-34 % |
| JUL | 1.60-2.05 | 19-44 % |
| AUG | 1.05-1.50 | 22-51 % |
| SEP | 0.80-1.15 | 43-60 % |
| OKT | 0.80-1.15 | 56-74 % |
| NOV | 0.45-0.65 | 36-67 % |
| DEZ | 0.20-0.35 | 25-38 % |

REPRÄSENTATIVE STATIONEN

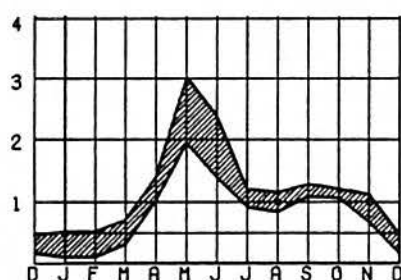
| | |
|--------------------------|---------|
| Calancasca, Buseno | 1952-62 |
| Krummbach, Klusmatten | 1933-60 |
| Madgia, Bignasco | 1929-50 |
| Moesa, San Giacomo | 1917-58 |
| Poschiavino, La Rossa | 1970-83 |
| R.di Calneqgia, Caverano | 1967-83 |

'REGIME NIVAL MERIDIONAL' (GRUPPE B)

Die mittleren Regimekurven des 'régime nival méridional' weisen im Bereich der grössten Abflüsse die Rangfolge JUN-JUL-MAI (Gruppe A) oder JUN-MAI-JUL (Gruppe B) auf. Die Nivalitätskoeffizienten liegen zwischen 1.5-2.0. Aus der Sicht des Maximalbereichs lässt sich das 'régime nival méridional' also in zwei Gruppen gliedern. Diese Gliederung ist im Herbst, wo die pluviale Abflusssteuerung vorherrscht, nicht zu erkennen. So können bei beiden Gruppen sekundäre Maxima auftreten oder auch nicht. Die minimalen Abflüsse konzentrieren sich auf die Monate Januar bis März.

Wir stossen beim 'régime nival méridional' auf das Phänomen, dass sich aus der Sicht des Kurvenverlaufs zwar zwei gut abgrenzbare Gruppen erkennen lassen, dass diese Gruppen aber räumlich nicht trennbar sind, zumal sie hinsichtlich der Vergletscherung (0-6%) und der mittleren Einzugsgebietshöhe (1800-2300 m) sehr ähnlich sind. Dies ist damit erklärbar, dass lokale und regionale Besonderheiten (Karst, Exposition usw.) die klimatische Abflusssteuerung in den suedalpinen Einzugsgebieten entscheidend zu modifizieren vermögen.

'REGIME NIVO-PLUVIAL MERIDIONAL'



| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.10-0.52 | 39-49 % |
| FEB | 0.10-0.52 | 33-45 % |
| MAR | 0.31-0.72 | 48-75 % |
| APR | 1.02-1.41 | 38-41 % |
| MAI | 1.94-3.02 | 26-36 % |
| JUN | 1.39-2.38 | 32-42 % |
| JUL | 0.91-1.20 | 40-59 % |
| AUG | 0.83-1.15 | 38-63 % |
| SEP | 1.08-1.29 | 71-75 % |
| OKT | 1.06-1.20 | 63-92 % |
| NOV | 0.67-1.12 | 43-73 % |
| DEZ | 0.17-0.47 | 41-47 % |

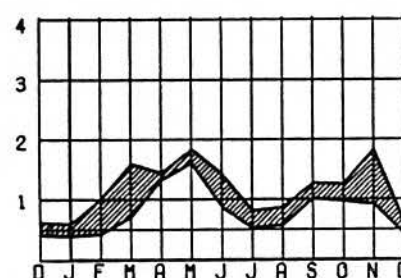
REPRESENTATIVE STATIONEN

| | |
|---------------------------|---------|
| R. di Roqqiasca, Roveredo | 1966-83 |
| Traversagna, Arbedo | 1966-83 |
| Veduggio, Isona | 1961-83 |
| Verzasca, Corippo | 1930-67 |

In der Abfolge der suedalpinen Regimetypen schliesst sich das 'régime nivo-pluvial méridional' hoechenmaessig an das 'régime nival méridional' an. Es ist gekennzeichnet durch eine Variationsbreite des Regimes, die das langjaehrige Abflussmittel ueberschreitet. Der maximale Doppelmonat ist MAI/JUN. Das Abflussmaximum faellt auf den Monat Mai, selten auf den Juni. Die dazugehoerenden Abflusskoeffizienten schwanken um den Wert 2, aber Werte bis 3 sind moeglich. Die Nivalitaetskoeffizienten betragen 1.03-1.50. Gegenueber dem 'régime nival méridional' ist der pluviale Einfluss groesser geworden: der mittlere Abfluss im Herbst betraegt 27% der Jahresfracht ('régime nival méridional': 22%). Durch die staerkere Austrocknung im Juli und August erscheint das sekundaere Abflussmaximum nun auch optisch ausgepraegter. Das Abflussminimum tritt immer in den Monaten Januar und Februar auf (AK: 0.10-0.50).

Das 'régime nivo-pluvial méridional' ist auf der Alpensuedseite zwischen 1200 und 1800 m mittlerer Einzugsgebietshoehe verwirklicht. Zusammen mit dem 'régime pluvio-nival méridional' bildet es den Uebergangsbereich zwischen den nivalen und pluvialen Abflussregimes auf der Alpensuedseite.

'REGIME PLUVIO-NIVAL MERIDIONAL'



| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.39-0.59 | 39-75 % |
| FEB | 0.42-1.00 | 32-66 % |
| MAR | 0.70-1.59 | 49-99 % |
| APR | 1.31-1.44 | 42-55 % |
| MAI | 1.60-1.85 | 40-53 % |
| JUN | 0.87-1.42 | 41-83 % |
| JUL | 0.52-0.81 | 45-99 % |
| AUG | 0.56-0.87 | 40-99 % |
| SEP | 1.01-1.27 | 66-99 % |
| OKT | 0.97-1.25 | 80-99 % |
| NOV | 0.92-1.83 | 56-94 % |
| DEZ | 0.42-0.62 | 37-59 % |

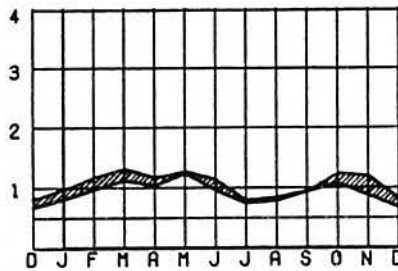
REPRESENTATIVE STATIONEN

| | |
|-----------------------|---------|
| Breggia, Chiasso | 1966-83 |
| Cassarate, Pregassona | 1963-83 |
| Veduggio, Bioqqio | 1961-71 |

Beim 'régime pluvio-nival méridional' vollzieht sich beim maximalen Doppelmonat der Uebergang vom MAI/JUN zu APR/MAI. Das Abflussmaximum tritt im Mai auf (AK: 1.60-1.85). Der Nivalitaetskoeffizient schwankt zwischen 0.83-1.03. Gegenueber dem 'régime nivo-pluvial méridional' verstaerkt sich das pluviale Herbstmaximum nur geringfuegig: die herbstliche Abflussfracht vergroessert sich von 27% auf 30%. Gleichzeitig nimmt die sommerliche Austrocknung (Juli, August) weiter zu, sodass das herbstliche sekundaere Abflussmaximum beim 'régime pluvio-nival méridional' trotz gleichbleibenden Abflusskoeffizienten viel ausgepraegter erscheint. Das Abflussminimum tritt uneinheitlich in den Monaten Dezember bis Februar ein und schwankt um einen Abflusskoeffizienten von 0.50.

Das 'régime pluvio-nival méridional' findet sich in Einzugsgebieten der Alpensuedseite zwischen 700 und 1200 m mittlerer Hoehe.

'REGIME PLUVIAL MERIDIONAL'



| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.80-0.97 | 31 % |
| FEB | 0.96-1.17 | 46 % |
| MRZ | 1.11-1.31 | 33 % |
| APR | 1.03-1.16 | 27 % |
| MAI | 1.23-1.27 | 41 % |
| JUN | 0.95-1.13 | 50 % |
| JUL | 0.74-0.79 | 47 % |
| AUG | 0.78-0.84 | 49 % |
| SEP | 0.93-0.94 | 49 % |
| OKT | 1.07-1.23 | 85 % |
| NOV | 0.87-1.19 | 54 % |
| DEZ | 0.67-0.81 | 36 % |

REPRAESENTATIVE STATIONEN

Faloppia, Chiasso 1969-80
Laveggio, Mendrisio 1963-83

Der mittlere Jahresgang des 'régime pluvial méridional' ist sehr ausgeglichen. Die Variationsbreite des Regimes liegt deutlich unter 1 MQ[Periode]. Fruehjahresmaximum und Herbstmaximum sind im Ausmass ungefaehr gleich gross. Das Hauptmaximum umfasst die Monate Maerz bis Mai (AK: 1.0-1.3); das sekundaere Maximum faellt auf den Oktober oder den November. Die Austrocknung im Juli und August erreicht die Groessenordnung des Winterminimums des Abflusses (AK: 0.75-0.95).

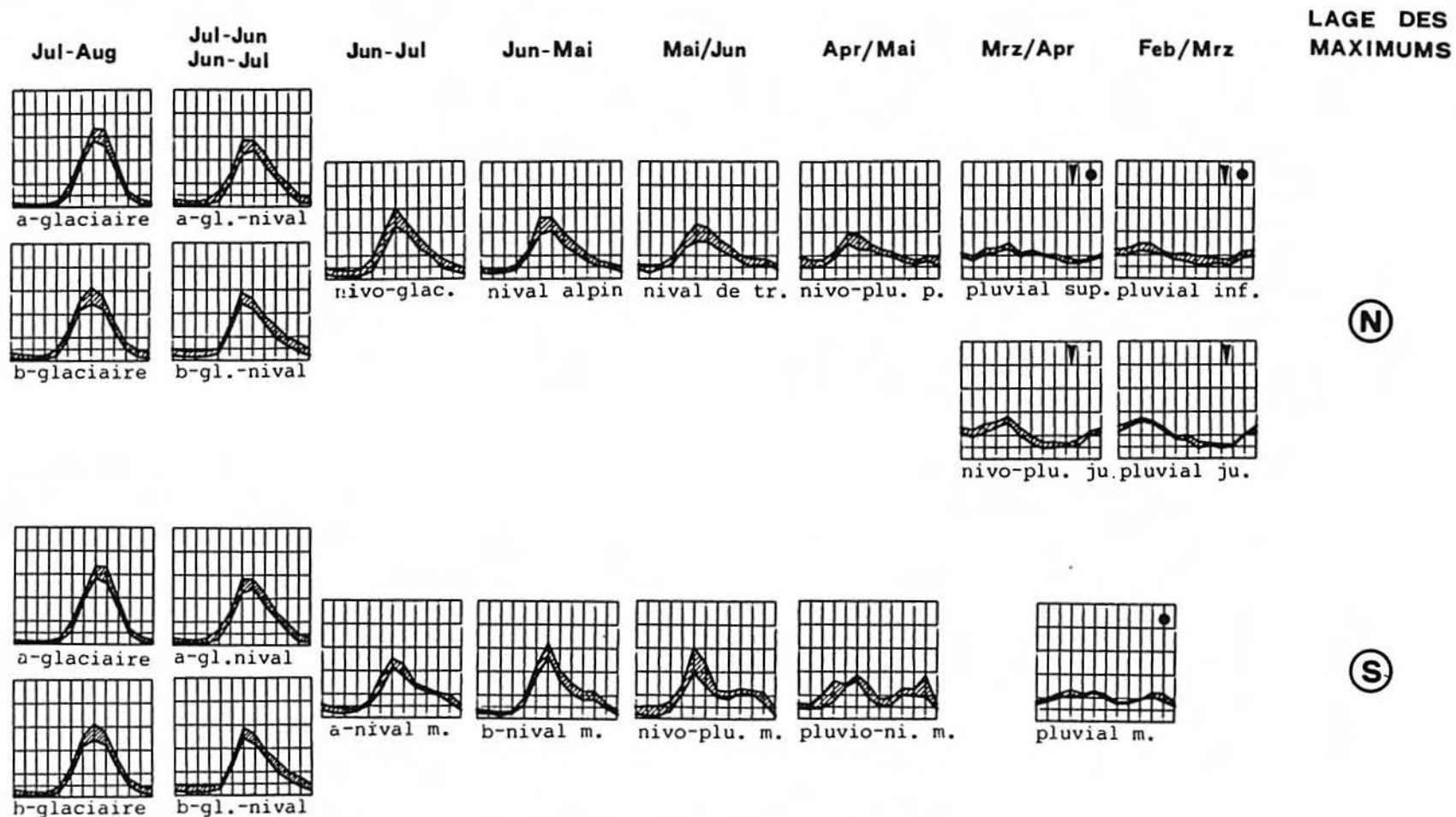
Das 'régime pluvial méridional' tritt auf der Alpensuedseite unterhalb von 700 m mittlerer Einzugsgebietshoehe auf.

In Figur 1 werden diese 16 Regimetypen auf einen Blick dargestellt. Als Anordnungskriterium wurde die Lage des mittleren maximalen Abflusskoeffizienten gewaehlt. Trotz der Uebereinstimmung im Maximalbereich unterscheiden sich die nord- und suedalpinen Regimetypen deutlich, insbesondere im Bereich der herbstlichen Abfluesse, so dass einerseits die Richtigkeit der Grundtypisierung bestaetigt und andererseits die unterschiedliche Regimebezeichnung verstaendlich wird.

Bei den Regimes mit Maxima zwischen April/Mai und Juli liegt das Hauptminimum stets im Winterhalbjahr; bei denjenigen mit frueherem Hauptmaximum ist eine Differenzierung zwischen nord- und suedalpinen Regimes feststellbar.

Als "pluvial" bezeichnen wir ein Regime dann, wenn die Variationsbreite der mittleren Monatskoeffizienten < 1 MQ[Periode] ist. Bei diesen Regimes besteht ein besonders krasses Missverhaeltnis zwischen dem Periodenmittel und den Verhaeltnissen im Einzeljahr: Die hohe zeitliche Variabilitaet der Maximalabfluesse fuehrt letztlich zu einem ausgeglichenen mittleren Regime. Eine Ausnahme davon macht das pluviale Regime des Jura, wo die besonderen hydrogeologischen Verhaeltnisse ein relativ ausgepraegtes Regime mit einer Variationsbreite > 1 MQ[Periode] entstehen lassen.

Die nivalen und glazialen Steuerfaktoren weisen eine groessere zeitliche Konstanz auf; dadurch nimmt die Auspraegung der Regimes zu und die Mittelwertskurve gewinnt zusehends an Repraesentativitaet fuer das Einzeljahr.



Figur 3. Gesamtschau der Abflussregimetypen:

- ▶ Hauptminimum im Sommerhalbjahr
- Variationsbreite < 1 MQ[Periode]

Die Bandbreiten zeigen die Richtwerte der monatlichen Abflusskoeffizienten. Obwohl hier 17 Regimekurven dargestellt sind, sprechen wir nur von 16 Regimetypen, da sich die beiden Gruppen des 'regime nival meridional' räumlich nicht festlegen lassen.

2.3. ANWENDUNGSMOEGLICHKEITEN UND AUSBLICK

Die vorliegende Regimetypisierung der Schweiz geht inhaltlich weiter als die bisherigen Regimetypisierungen. Neben der Raumgliederung der Schweiz nach Abflussregimes, die eine flaechendeckende Beurteilung des saisonalen Abflussverhaltens von Einzugsgebieten auf der Basis von Abflusskoeffizienten erlaubt, koennen dank des integralen Charakters der Regimes Abflusscharakteristiken ausgewiesen werden, die ueber die mittlere Regimekurve hinausfuehren:

- die Haeufigkeitsverteilung maximaler und minimaler Monatsabfluesse;
- die Variabilitaet der Monatsabfluesse;
- die maximalen, mittleren und minimalen Schwankungsbreiten der Abflussregimes von Einzeljahren;
- die Groessenordnung des zu erwartenden mittleren spezifischen Abflusses;
- die Repraesentativitaet der mittleren Regimekurve fuer die Einzeljahre.

Die Angabe von raeumlichen Schwellenwerten fuer jeden Regimetyp gestattet es also dem Praktiker, fuer ein beliebiges ungemessenes Einzugsgebiet das wahrscheinlichste mittlere Abflussverhalten abzuschaeetzen und darueber hinaus eine Fuelle von Informationen bezueglich des hydrologischen Grundverhaltens des Einzugsgebietes zu erhalten. Diese Charakteristiken koennen den beigefuegten Teilberichten I-III entnommen werden.

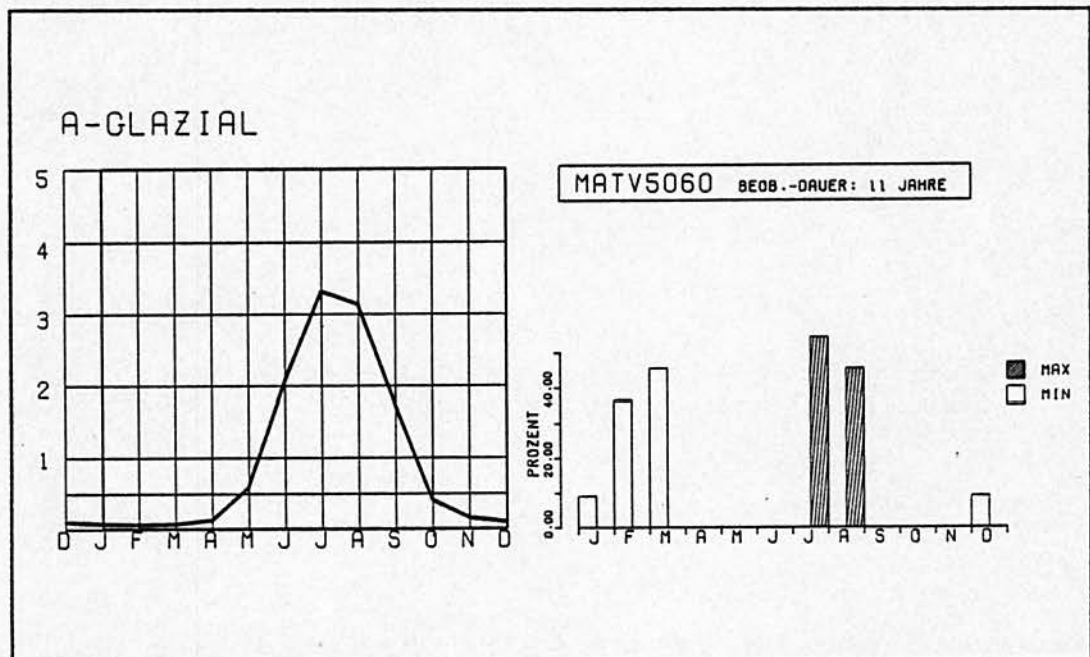
Fuer die Abschaetzung der absoluten Monatsabfluesse in ungemessenen Einzugsgebieten stehen grundsaeztlich zwei Wege offen:

1. Uebertragung der Bandbreite der Abflusskoeffizienten eines Regimetyps;
2. Uebertragung der Abflusskoeffizienten einer repraesentativen Station: Dieser Schritt basiert auf raeumlichen Analogieschluesen. Im Gegensatz zu einem Ansatz von JATON(1980) stehen aber bei der Zuordnung repraesentative Station ---> hypothetische Station nur noch hydrologisch verwandte zur Auswahl; es handelt sich also um Stationen, welche die gleiche Typzugehoerigkeit wie die hypothetische Station aufweisen. Dadurch wird der Fehler der Uebertragung nicht-repraesentativer Werte bei der Wahl einer falschen Station minimiert. Die Wahl einer repraesentativen Station wird im einfacheren Fall auf Nachbarschaftsbeziehungen beruhen. Aufwendiger, aber entsprechend genauer ist der Weg ueber echte naturraeumliche Analogieschluesse. Ein moeglicher Ansatz ist in BAHRENBURG und GIESE (1975:155ff.) beschrieben. Eine Anwendung dieser speziellen Korrelationsanalyse fuer Einzugsgebiete zeigt ASCHWANDEN(1982:64-75).

In beiden Faellen erfolgt die Quantifizierung ueber den langjaehrigen mittleren Jahresabfluss durch Multiplikation mit den Abflusskoeffizienten. Fuer die Abschaetzung des Jahresabflusses eignet sich die Karte von BAUMGARTNER et al.(1983) oder die haeufig angewandte Uebertragung des mittleren spezifischen Abflusses einer benachbarten Station. Als weitere Moeglichkeiten sind die Wasserhaushaltsgleichung oder die Beziehungen von BINGGELI(1974) oder JATON(1980) zu erwaehnen, die den Abfluss als Funktion des Gebietsniederschlages oder der mittleren Meereshoehe der Einzugsgebiete darstellen. ASCHWANDEN(1985) schlaegt ein Regimetyp-abhaengiges Berechnungsverfahren vor.

Teil I

ALPINE ABFLUSSREGIMES



INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|-------------|
| A 1. EINLEITUNG | A-1 |
| A 1.1. Bisherige Arbeiten zu den schweizerischen Abflussregimes | A-1 |
| A 1.2. Gesamtschweizerische Datenlage | A-4 |
| A 2. GRUNDTYPEN DER SCHWEIZERISCHEN ABFLUSSREGIMES | A-9 |
| A 2.1. Originale und modifizierte Regimes | A-9 |
| A 2.2. Zur Grundtypisierung verfuegbare Stationen | A-10 |
| A 2.3. Ergebnisse der Grundtypisierung | A-10 |
| A 2.4. Regionale Grundgliederung | A-14 |
| A 2.4.1. Die nordalpine Zone | A-15 |
| A 2.4.2. Die suedalpine Zone | A-16 |
| A 3. TYPISIERUNG DER ALPINEN ABFLUSSREGIMES | A-19 |
| A 3.1. Datenlage | A-19 |
| A 3.1.1. Homogenitaet, Konsistenz und Unabhaengigkeit | A-19 |
| A 3.1.2. Notwendige Beobachtungsdauer | A-20 |
| A 3.1.3. Problem der Standardperiode | A-23 |
| A 3.1.4. Repraesentative Stationen | A-24 |
| A 3.2. Regimetypisierung mit Distanzgruppierungsverfahren | A-26 |
| A 3.3. Vorgehen bei der Typisierung der alpinen Regimes | A-27 |
| A 4. DIE ALPINEN REGIMETYPEN | A-33 |
| A 4.1. Grundsatzliches | A-33 |
| A 4.2. Glaziale Regimes | A-33 |
| A 4.2.1. Die a-glazialen Regimes | A-33 |
| A 4.2.2. Die b-glazialen Regimes | A-35 |
| A 4.3. Die glazionivalen Regimes | A-36 |
| A 4.3.1. Die a-glazionivalen Regimes | A-37 |
| A 4.3.2. Die b-glazionivalen Regimes | A-38 |
| A 4.4. Die nivoglazialen Regimes | A-40 |
| A 4.5. Die nivalen Regimes | A-41 |
| A 4.6. Weitere Aspekte | A-43 |
| A 4.6.1. Haeufigkeitsverteilung maximaler und minimaler Monatsabfluesse | A-43 |
| A 4.6.2. Glazialitaet der Regimes | A-46 |
| A 4.6.3. Variationskoeffizienten, Genauigkeiten und Beobachtungsdauer | A-49 |
| A 5. RAEUMLICHE UEBERTRAGUNG | A-55 |
| A 5.1. Bedeutung der mittleren Hoehe und der Vergletscherung | A-55 |
| A 5.2. Die raeumlichen Richtwerte der alpinen Regimetypen | A-56 |
| A 5.3. Vergleich mit anderen Arbeiten | A-59 |
| ZUSAMMENFASSUNG | A-63 |

VERZEICHNIS DER FIGUREN

| | | |
|-----------|---|------|
| Figur 1. | Räumliche Verteilung der Abflussmessstationen | A-6 |
| Figur 2. | Histogramme der Beobachtungszeiten | A-7 |
| Figur 3. | Mittlere Höhe und Grösse der mit Daten belegten Einzugsgebiete | A-7 |
| Figur 4. | Zeitliche Entwicklung ein- und mehrgipfliger Regimes | A-11 |
| Figur 5. | Die unterschiedlichen notwendigen Beobachtungszeiten ein- und mehrgipfliger Regimes | A-12 |
| Figur 6. | Die Höhenverteilung ein- und mehrgipfliger Regimes | A-13 |
| Figur 7. | Die pseudoeingipfligen Regimes | A-14 |
| Figur 8. | Diagramm Variationsbreite (VAR) - mittlere Höhe | A-15 |
| Figur 9. | Trennpunkt g der ein- und mehrgipfligen Regimes | A-15 |
| Figur 10. | Vorgehen bei der Grundtypisierung und Grundgliederung | A-17 |
| Figur 11. | Abflusskoeffizienten und Variationskoeffizienten | A-22 |
| Figur 12. | Räumliche Lage der repräsentativen Stationen | A-24 |
| Figur 13. | Charakteristische Unterschiede bei den glazialen Regimes | A-30 |
| Figur 14. | A-glaziale Abflussregimes | A-34 |
| Figur 15. | B-glaziale Abflussregimes | A-36 |
| Figur 16. | A-glazionivale Abflussregimes | A-37 |
| Figur 17. | B-glazionivale Abflussregimes | A-39 |
| Figur 18. | Nivoglaziale Abflussregimes | A-41 |
| Figur 19. | Nivale Abflussregimes | A-42 |
| Figur 20. | Ova dal Fuorn (Zernez) - Vergleich zweier Einzeljahre | A-46 |
| Figur 21. | g-Werte der alpinen Typen | A-47 |
| Figur 22. | Abhängigkeit der Varianz und des Variationskoeffizienten von der Beobachtungszeit | A-50 |
| Figur 23. | Die räumlichen Richtwerte der alpinen Typen | A-57 |
| Figur 24. | Karst und Abflussregime | A-58 |
| Figur 25. | Vergleich der Arbeiten im alpinen Raum | A-60 |

VERZEICHNIS DER TABELLEN

| | | |
|-------------|---|------|
| Tabelle 1. | Die Regimeformel nach KELLER(1968:71) | A-1 |
| Tabelle 2. | Unterscheidungsmerkmale ein- und mehrgipfliger Regimes | A-13 |
| Tabelle 3. | Ausreisser aus der Stichprobe der eingipfligen Regimes | A-14 |
| Tabelle 4. | Angewandte Testverfahren | A-20 |
| Tabelle 5. | Notwendige Beobachtungsdauer bei festem Variations- koeffizienten | A-22 |
| Tabelle 6. | Repraesentative Stationen | A-25 |
| Tabelle 7. | Abflusskoeffizienten der a-glazialen Regimes | A-35 |
| Tabelle 8. | Abflusskoeffizienten der b-glazialen Regimes | A-35 |
| Tabelle 9. | Weitere Deltawerte a-glazionaler Regimes | A-37 |
| Tabelle 10. | Abflusskoeffizienten der a-glazionalen Regimes | A-38 |
| Tabelle 11. | Weitere Deltawerte b-glazionaler Regimes | A-39 |
| Tabelle 12. | Abflusskoeffizienten der b-glazionalen Regimes | A-40 |
| Tabelle 13. | Abflusskoeffizienten der nivoglazialen Regimes | A-41 |
| Tabelle 14. | Die nivalen Deltawerte | A-42 |
| Tabelle 15. | Abflusskoeffizienten der nivalen Regimes | A-42 |
| Tabelle 16. | Vergleich der Regimes anhand einiger Mittelwerte | A-43 |
| Tabelle 17. | Haeufigkeiten des Auftretens maximaler Monatsabfluesse | A-44 |
| Tabelle 18. | Haeufigkeiten des Auftretens minimaler Monatsabfluesse | A-44 |
| Tabelle 19. | Die Glazialitaetsklasse 1.25 - 1.50 | A-48 |
| Tabelle 20. | Wahrscheinlichkeit eines Typs nach dem g-Wert | A-49 |
| Tabelle 21. | Konstanz der Variationskoeffizienten in Abhaengigkeit der Beobachtungszeit | A-50 |
| Tabelle 22. | Mittlere Variationskoeffizienten der Regimetypen im Vergleich | A-51 |
| Tabelle 23. | Deltawerte (%) benachbarter Monate bei den alpinen Regimetypen | A-51 |
| Tabelle 24. | Schaetzgenauigkeit der Monate JAN-APR und OKT-DEZ | A-52 |
| Tabelle 25. | Veraenderung der Gletscherflaechen in den Abflussgebieten der Schweiz | A-56 |

A 1. EINLEITUNGA 1.1. BISHERIGE ARBEITEN ZU DEN SCHWEIZERISCHEN ABFLUSSREGIMES

Groessere Arbeiten ueber die Abflussregimes unter Einbezug der Schweiz haben PARDE(1933), KELLER(1968), GRIMM(1968,1), GAUDET(1975) und SCHMIDT(1981) veroeffentlicht. Von PARDE liegt auch eine Publikation mit dem Titel "Le regime des cours d'eau suisse" vor (PARDE 1920). In dieser Arbeit ist allerdings der Abflusskoeffizient noch nicht eingefuehrt; eine direkte Vergleichbarkeit der einzelnen Fluesse wird dadurch erschwert. Zudem baut die Publikation von 1933 weitgehend auf dieser Arbeit auf, so dass wir uns hier auf PARDE(1933) beziehen wollen.

"Die dem Wasserhaushalt und insbesondere dem Abflussgeschehen innewohnenden Regelmaessigkeiten waren bereits im vergangenen Jahrhundert Anlass fuer Versuche, Ursachen und Erscheinungsformen des Abflusses in den Fluessen systematisch zu erfassen und zu typisieren. Bis heute ist es jedoch noch nicht gelungen, eine den Klimagliederungen gleichwertige Gliederung des Abflussverhaltens zu schaffen, was in erster Linie auf die weit schwierigere Materiallage - Ermittlung zuverlaessiger, repraesentativer Abflusswerte, Bestimmung der Ursachen des Abflussverhaltens - zurueckzufuehren ist" (GRIMM 1968,1:21).

Dieses Zitat hat auch heute noch seine Berechtigung; es muss aber (aus schweizerischer Sicht) durch die eingangs erwaehten Arbeiten relativiert werden. Der Betrachtungsmassstab spielt bei der Beurteilung dieses Zitats ebenfalls eine wichtige Rolle: In kleinen Massstaeben - etwa $\leq 1 : 3$ Mio. - haben die Publikationen von KELLER(1968) und vor allem auch von GRIMM(1968) taugliche Gliederungen des (mittel-) europaeischen Raumes erbracht. In bezug auf die Schweiz, wo sich mittlere Betrachtungsmassstaebe (1 : 300'000 bis 1 : 500'000) als guenstig erweisen (s. WEINGARTNER 1985), sind diese Gliederungen zu grob.

Tabelle 1. Die Regimeformel nach KELLER(1968:71)

Die Stufen der Abflusskoeffizienten und der Abflussschwankung in der Regimeformel

$$\left(\text{Abflusskoeffizient} = \frac{\text{Mittl. monatl. Abflu\ss (cusec)}}{\text{Mittl. j\ae hrl. Abflu\ss (cusec)}} \right)$$

| Kleinsten monatl. Abflusskoeffizient | = | Buchstabe der Regimeformel | = | gr\o\ss tsten monatl. Abflusskoeffizient |
|--------------------------------------|---|----------------------------|---|--|
| 1,00—0,81 | | a | A | 1,00—1,19 |
| 0,80—0,71 | | b | B | 1,20—1,39 |
| 0,70—0,61 | | c | C | 1,40—1,59 |
| 0,60—0,51 | | d | D | 1,60—1,79 |
| 0,50—0,41 | | e | E | 1,80—1,99 |
| 0,40—0,31 | | f | F | 2,00—2,19 (2,00—2,39) |
| (0,30—0,20) < 0,30 | | g | G | 2,20—2,39 (2,40—2,99) |
| (< 0,20) < 0,30 | | h | H | > 2,40 (> 3,00) |

Aus methodischer Sicht ist bei KELLER(1968) die Regimeformel zu erwae hnen (Tab.1). Wie es sich in unserer Untersuchung gezeigt hat, eignet sie sich ausgezeichnet, um einen ersten Ueberblick ueber die Daten zu erhalten. Sie bezieht sich ausschliesslich auf den groessten und kleinsten Abflusskoeffizienten; die restlichen Monate werden bei KELLER nur durch eine auf PARDE zurueckgehende, sehr allgemeine Beschreibung (pluviales Regime, pluvio-nivales

Einleitung

Regime ...) gekennzeichnet. Fuer eine vertieftere Betrachtung muesste dieser Ansatz jedenfalls erweitert werden.

GRIMM(1968,1) beschreitet einen interessanten Weg, der ihn trotz des Betrachtungsmassstabes von 1 : 8 Mio zu einer erstaunlich detaillierten Gliederung fuehrt. Er typisiert die Fluesse aufgrund

- des Abflussmaximums (nach Zeitpunkt und nach Intensitaet),
- des sekundaeren Maximums (sofern vorhanden, nach Zeitpunkt),
- des Abflussminimums (nach Zeitpunkt und nach Intensitaet),
- und der Jahresabflussspende,

indem er diese Merkmale formelhaft umschreibt (s. Teil III, Tab. 1). Es entstehen eindeutig definierte Typen, welche die Ausarbeitung von Kausalbeziehungen Raum <-> Regimetyp erleichtern.

Die Arbeiten von PARDE in den 1930er Jahren zielten erstmals in Richtung einer systematischen Uebersicht ueber die Abflussregimes. Sie sind - bei aller Kritik - richtungsweisend:

- Einfuehrung des PARDE-Koeffizienten AK zur Erleichterung der Vergleichbarkeit der Regimes:

$$AK = \frac{\text{monatlicher MQ}}{\text{MQ des Jahres}} ; \quad \text{MQ: mittlerer Abfluss}$$

In der vorliegenden Arbeit haben wir die monatlichen Abflusswerte in PARDE-Koeffizienten umgerechnet.

- PARDE geht bei seiner Typisierung vom Zeitpunkt und vom relativen Betrag des Abflussmaximums aus, um dann unter teilweiser Beruecksichtigung der monatlichen Abfolge im Bereich des Maximums und anderer, den Regimeverlauf beschreibender Faktoren seine Typisierung zu verfeinern. Beispiel:

| GRUNDTYP (Maximum im Juni) | "VERFEINERUNG" | KRITERIUM: Rangfolge der Koeffizienten in den Sommermonaten |
|-------------------------------|----------------|---|
| nival de montagne | nivo-glaciaire | Jun-Jul-Aug-Sep |
| | nival pur | Jun-Jul-Mai-Aug |
| | nival mitigé | Jun-Mai-Jul |

Ebenso beruecksichtigt er die Speisungsart und die wichtigsten Kausalbeziehungen zwischen Raum und Regime. Fuer die Schweiz weist PARDE folgende Regimetypen aus: glaciaire, nival de montagne (nivo-glaciaire, nival pur, nival mitigé), nival de transition, nivo-pluvial und pluvio-nival. PARDE kommt mit dieser Typisierung einer Systematik der Abflussregimes sehr nahe.

Als grossen Nachteil des PARDEschen Ansatzes muss das Fehlen von allgemeingueltigen, typspezifischen Richtwerten angesehen werden: PARDE "definiert" seine Typen nur mittels Beispielen, was angesichts der spaerlich vorhandenen Daten zu dieser Zeit nicht anders moeglich war. Aus diesem Grund bleibt auch die raeumliche Umsetzung seiner Typen mangelhaft: Eine mittel- bis grossmassstaebliche kartographische Darstellung bzw. eine Gliederung des Raumes nach Regimetypen faellt ausser Betracht.

Trotzdem bieten die Arbeiten von PARDE einen guten Einstieg in die Problematik der schweizerischen Abflussregimes.

Im Mittelpunkt der Untersuchung von GAUDET(1975) stehen die glazialen Abflüsse der Westalpen (inkl. Wallis und Berner Oberland). Unter glazialen Abflüssen versteht sie Abflüsse von Einzugsgebieten, welche eine Vergletscherung von mehr als 5 % aufweisen. Ihre Typisierung fusst auf der Erkenntnis, dass bei den glazialen Abflüssen die entscheidenden Prozesse in den "Sommermonaten" Mai bis September ablaufen (zwischen 70 - 90 % des Jahresabflussmenge). Eine Typisierung der glazialen Abflüsse muss deshalb primär auf diesen Monatsabflüssen basieren; die nur wenig differenzierte Niedrigwasserperiode Oktober bis April ist für eine Typisierung ungeeignet. Ausgehend vom klassischen Verfahren PARDE's, die Sommermonate gemäss der Grösse der Abflusskoeffizienten zu rangieren, gelingt es GAUDET, fünf Regimetypen auszuweisen. Sie stellt in der Folge einen engen Zusammenhang zwischen der Vergletscherung und der Ausbildung eines Regimetyps fest und es gelingt ihr, diese wichtigste Kausalbeziehung Raum -> Regimetyp zu beziffern, also typspezifische räumliche Richtwerte festzulegen:

| | | |
|--------------------|-----------|-----------------|
| ultra-glaciaire: | > 80 % | Vergletscherung |
| glaciaire normal: | 25 - 80 % | Vergletscherung |
| glaciaire mitigé: | 15 - 25 % | Vergletscherung |
| nivo-glaciaire: | 5 - 15 % | Vergletscherung |
| nival de montagne: | < 5 % | Vergletscherung |

Aufgrund dieser Vergletscherungswerte ist eine Raumgliederung auch in Gebieten, wo keine Abflussmessungen vorhanden sind, möglich. Der Ansatz von GAUDET ist für unsere Typisierung der alpinen Regimes sehr wichtig (s. Kap. A 3).

Als Kritikpunkte zur Untersuchung von GAUDET sind zu erwähnen:

- Die räumlichen Richtwerte der Typen beziehen sich auf den gesamten Bereich der Westalpen. Wir glauben, dass mit einer regionalen Grundgliederung, insbesondere mit einer getrennten Betrachtung der nord- und suedalpinen Gebiete, diese Richtwerte noch verfeinert werden könnten (s. Kap. A 2).
- Die verwendeten Daten sind:
 1. uneinheitlich bezüglich der Einzugsgebietsgrösse:

| | |
|-----------------------------|----------------------|
| Beispiel: Rhone in Gletsch: | 39 km ² |
| Rhone in Sion: | 3349 km ² |

Auf den Problemkreis unterschiedlicher Einzugsgebietsgrössen treten wir in Kapitel A 2.1 ein. Wir begnügen uns hier mit einem Gedanken von GRIMM(1968,1:19), welcher die Tragweite unterschiedlicher Einzugsgebietsgrössen darlegt: "Bisherige Untersuchungen der Abflussregimes zielten auf die Typisierung des Abflussverhaltens einzelner Flüsse, nicht auf die Typisierung des Abflussverhaltens der Flüsse als Produkt der umgebenden Landschaft. Sie beziehen somit Flüsse jeder Grössenordnung in die Typisierung ein. Die Unterschiede zwischen beiden Fragestellungen sind bei groben Übersichten gering. Bei grösser werdendem Massstab ist eine detailliertere Aussage erforderlich, die Verschiedenheiten beider Fragestellungen werden deutlich sichtbar: die Typisierung der Abflussregimes der Einzelflüsse bezieht grosse Flüsse mit ein; die Typisierung als Ausdruck des Zusammenwirkens der Geofaktoren klammert die grossen Flüsse aus und betrachtet nur die Abflussregimes autochthoner Flüsse."

Mit der Ausweisung des Kausalzusammenhangs Vergletscherung -> Regimetyp hat sich GAUDET letzterem Grundsatz verpflichtet; die Berücksichtigung

der beiden flaechenmaessig stark verschiedenen Rhone-Einzugsgebiete scheint uns deshalb unzweckmaessig zu sein.

2. uneinheitlich bezueglich der Genauigkeit: die Frage, ob fuenf- bis zehnjaehrige Beobachtungsperioden genuegen, um die mittleren Regimekoeffizienten mit ausreichender Genauigkeit zu schaetzen, sei hiermit gestellt (vgl. Kap. A 3.1.2. und A 4.6.3.).

Fuer die Untersuchung von SCHMIDT(1981) galten dieselben Kritikpunkte. Seine Typisierung, die allerdings nur auf wenigen Fluessen basiert und deshalb unvollstaendig ist (s. Kap. A 5.3.), stuetzt sich auf verschiedene Kriterien ab, insbesondere auf die Variationsbreite des Regimes, auf die Groesse der Koeffizienten in bestimmten Monaten und auf die Rangfolge ausgewaehlter Monate. SCHMIDT stellt ebenfalls Kausalzusammenhaenge Raum -> Regimetyp fest, im Gegensatz zu GAUDET nun aber zwischen der mittleren Einzugsgebietshoehe und den Regimetypen: "Il est donc possible de se faire une première idée du régime d'une rivière non-étudiée d'après l'altitude moyenne du bassin versant." (SCHMIDT 1981:19).

Als wesentliche Erkenntnis koennen wir aus diesen Arbeiten ableiten, dass offensichtlich "einfache" Kausalzusammenhaenge zwischen Vergletscherung, mittlerer Einzugsgebietshoehe und dem Regime bestehen. Damit scheint eine Abschaetzung von Regimetypen in Gebieten ohne Direktmessung moeglich. Weiter ist aus den Arbeiten zu erkennen, dass sich mit dem induktiven Ansatz gute Resultate erzielen lassen.

Wir werden in Kap. A 5.3. unsere Typisierung und raeumliche Gliederung mit diesen Arbeiten vergleichen. Es bleibt abschliessend festzustellen, dass eine umfassende Typisierung und eine raeumliche Gliederung der schweizerischen Abflussregimes noch fehlt, dass aber ermutigende Ansaetze bestehen, auf denen in dieser Untersuchung aufgebaut werden kann.

A 1.2. GESAMTSCHWEIZERISCHE DATENLAGE

Entsprechend der Zielsetzung, einen umfassenden Ueberblick ueber die Abflussverhaeltnisse der schweizerischen Fliesssgewaesser zu gewinnen, wurde eine breit angelegte Sammlung und Aufarbeitung von Abflussdaten notwendig. Abflussmessungen werden von der Landeshydrologie Bern, von Kantonen und von Drittstellen durchgefuehrt.

Messnetz der Landeshydrologie

Die ersten Abflussmessungen in unserem Lande erfolgten Ende des 18. und waehrend des 19. Jahrhunderts vorerst sporadisch und isoliert, vorwiegend in Zusammenhang mit Flusskorrektionsprojekten. Schon bald erkannte man die Notwendigkeit von langfristigen Abflussbeobachtungen und errichtete die ersten Wassermessstationen. Der Zweck dieses bescheidenen Messnetzes um 1900 bestand darin, generelle Kenntnisse ueber die hydrologischen Verhaeltnisse der Schweiz zu erhalten. Zwischen 1910 und 1920 wurden neue Messstellen erstellt mit dem spezielleren Ziel, detaillierte Informationen fuer die Projektierung von Wasserkraftwerken zu gewinnen. In diesen Zeitraum faellt auch die Abloesung der z.T. mehrmals taeglich erfolgten Pegelablesungen durch die kontinuierliche Aufzeichnung von Limnigraphen. Zudem veroeffentlicht das Eidg. Amt fuer Wasserwirtschaft (bzw. spaeter die Landeshydrologie) ab 1917 regelmaessig das "Hydrographische (Hydrologische) Jahrbuch der Schweiz".

Nach einer Periode der Stagnation bis 1945 steigerte sich die Nachfrage nach Abflussmengenangaben wieder, bedingt durch eine neue Ausbauphase der Wasser-

Kraftnutzung, aber auch zur Deckung der Beduerfnisse auf anderen Gebieten der Wasserwirtschaft. So hat sich im Verlauf der Zeit die Zweckbestimmung des hydrologischen Messnetzes von der Wasserkraftnutzung auf ein breiteres Spektrum ausgedehnt, das die quantitative und qualitative Bewirtschaftung unserer Wasservorkommen umfasst (EMMENEGGER, 1974:4ff.).

Das eidgenoessische Messnetz zaehlte 1980 245 Abflussmessstationen. Zudem stehen von weiteren 251 aufgelassenen Stationen Abflussdaten zur Verfuegung.

Kantonale Messnetze

Ab ca. 1975 begannen die Kantone in Ergaenzung zum eidgenoessischen Messnetz fuer ihre eigenen Beduerfnisse Abflussmessungen durchzufuehren. Diese kleinen Messnetze sind erst im Aufbau begriffen und haben teilweise nur temporaeren Charakter. BUTTET und SPREAFICO(1983) geben eine Uebersicht ueber die kantonalen Messnetze.

Abflussmessungen von Drittstellen

Daneben werden noch von Hochschulinstituten und von Kraftwerkgesellschaften Abflussdaten erhoben. Die Verwendbarkeit dieser Daten fuer die vorliegende Untersuchung ist ebenfalls unterschiedlich zu beurteilen: bei den Abflussdaten der Hochschulinstitute handelt es sich vielfach um Kurzzeitmessungen (Dissertationen), bei jenen der Kraftwerkgesellschaften oft um die abgeleitete oder turbinierete Wassermenge (BUTTET und SPREAFICO 1983).

Verfuegbare Daten

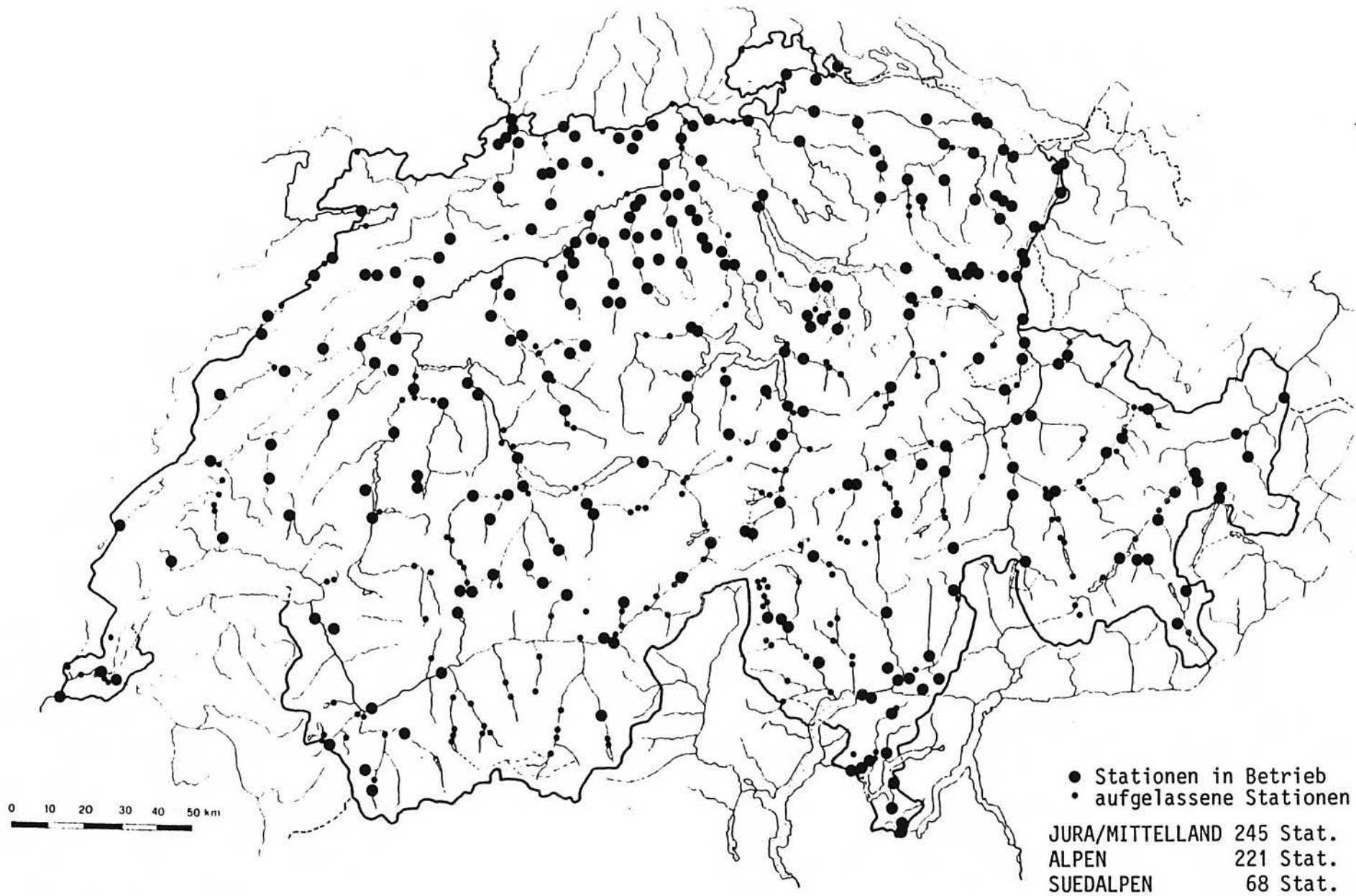
Fuer die Typisierung der schweizerischen Fliessgewaesser wurden aus Genauigkeitsueberlegungen und aus Gruenden der Vergleichbarkeit (Limnigraphenaufzeichnungen anstelle von Pegelablesungen) Abflussdaten ab 1917 verwendet. Ab diesem Zeitpunkt ist durch die Herausgabe des "Hydrographischen Jahrbuches" auch eine gewisse Kontinuitaet der Messungen gewaehrleistet. Somit stehen fuer die weiteren Arbeitsschritte 534 Abflussmessstationen mit insgesamt 644 unterschiedlich langen Abflussmessreihen zur Verfuegung.

Figur 1 vermittelt einen Ueberblick ueber die raeumliche Verteilung der verwendeten Abflussmessstationen. Es faellt auf, dass das westliche Mittelland und der Kanton Zuerich stark untervertreten sind.

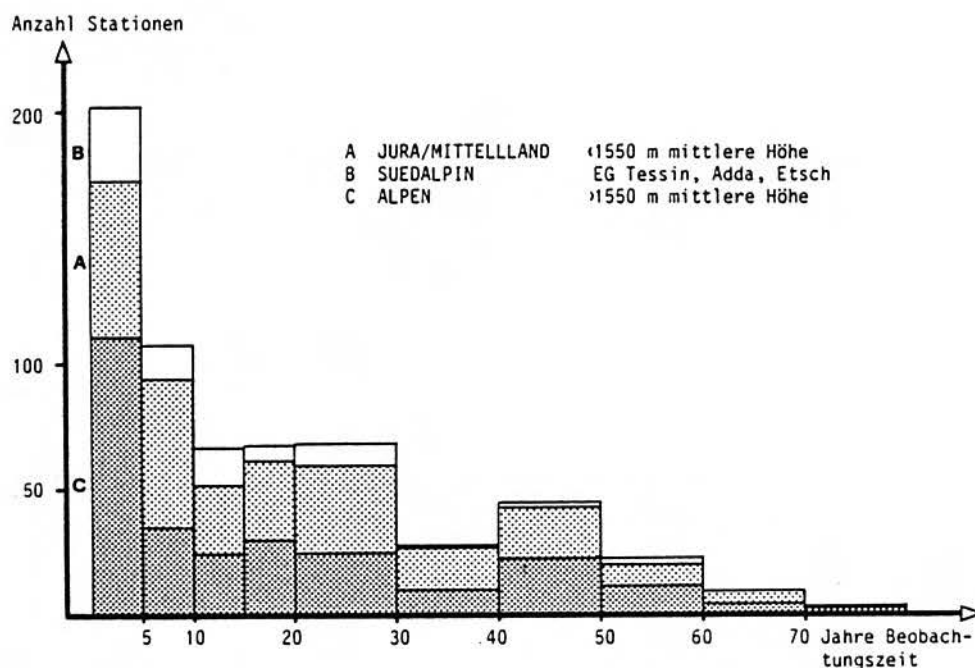
Im Hinblick auf die Abflussregimetypisierung muss das ansonsten guenstige Bild korrigiert werden, da neben einer grossen raeumlichen Dichte der Messstellen eine moeglichst lange Beobachtungszeit notwendig ist (s. Figur 2).

Die raeumliche Verteilung der Beobachtungszeiten der vorliegenden Messdaten widerspiegelt die Geschichte der Hydrometrie in der Schweiz. 330 kurzfristigen (bis 10 Jahre) Messreihen stehen 206 mittelfristige (10-30 Jahre) und nur 110 langfristige (ueber 30 Jahre Beobachtungszeit) Messreihen gegenueber. Besonders auffaellig ist der Mangel an langen Messreihen in den suedalpinen Einzugsgebieten. Das starke Ueberwiegen der kurzen Beobachtungszeiten ist die direkte Folge der Projektabklaerungen fuer Kraftwerkanlagen in den Alpen, aber auch des erst ab 1975 einsetzenden Aufbaus kantonalen Messnetze im Mittelland. Der Wandel der Zweckbestimmung des hydrologischen Messnetzes von der Wasserkraftnutzung auf ein breiteres Spektrum der Wassernutzung zeigt sich hier ganz deutlich.

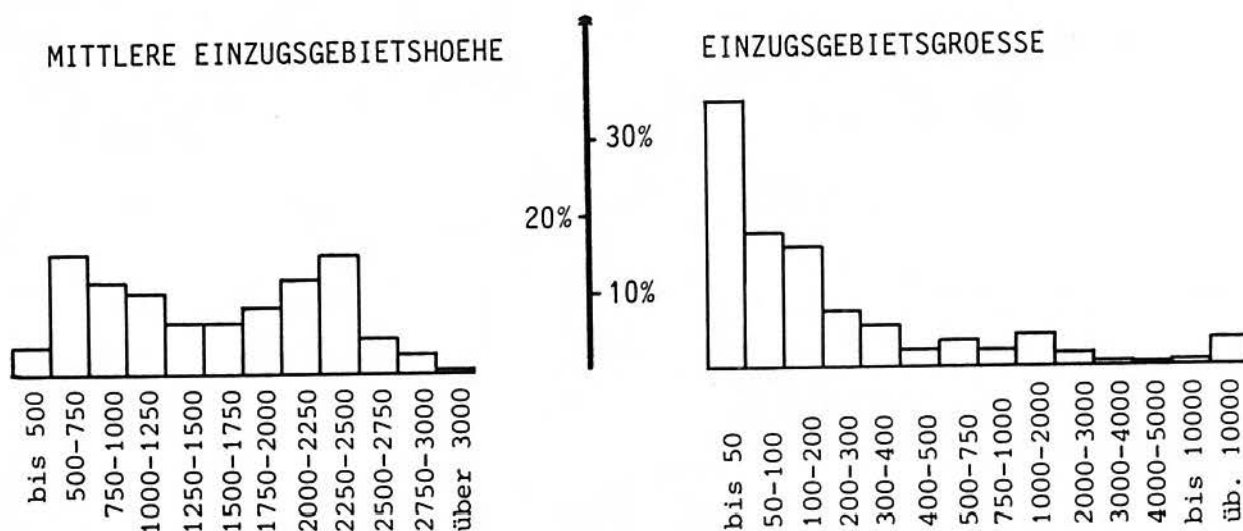
Figur 3 gibt Auskunft ueber Groesse und mittlere Hoehe der vorhandenen Flussgebiete. Bei der Interpretation der Histogramme beachte man die nicht-aequidistante Klasseneinteilung. Die Verteilung der Einzugsgebietsgroessen



Figur 1. Räumliche Verteilung der Abflussmessstationen



Figur 2. Histogramme der Beobachtungszeiten



Figur 3. Mittlere Hoehe und Groesse der mit Daten belegten Einzugsgebiete

zeigt ein Uebergewicht der kleinen Flussgebiete: ueber 50 % aller gemessenen Einzugsgebiete sind kleiner als 100 km², 35 % gar kleiner als 50 km². Die Verteilung der mittleren Hoehe weist einen Schwerpunkt bei 500-1000 m und einen zweiten bei 2000-2500 m mittlerer Einzugsgebietshoehe auf. Einzugsgebiete zwischen 1250-1750 m mittlerer Hoehe sind untervertreten.

A 2. GRUNDTYPEN DER SCHWEIZERISCHEN ABFLUSSREGIMES

Es stellen sich hier die folgenden Fragen:

- Gibt es Gruende, die Gesamtheit aller Fluesse/Regimes der Schweiz in Grundtypen aufzuteilen (der Statistiker wuerde von Grundgesamtheiten sprechen), um dann eine Typisierung der schweizerischen Regimes auf der Basis dieser Grundtypen vorzunehmen ?
- Falls solche Gruende bestehen: Welches sind die wichtigsten nicht-raeumlichen und raeumlichen Unterscheidungsmerkmale der gefundenen Grundtypen ?

Nach dem Grad der "Komplexitaet" unterscheidet M.PARDE drei Stufen:

1. **einfache** Regimes mit nur einem Maximum und einem Minimum (z.B. glaziale Regimes mit Sommermaximum),
2. **original-komplexe** Regimes mit jaehrlich zwei oder drei Maxima und Minima (z.B. das pluvio-nivale Regime mit Fruehjahrs- und Herbstmaximum) und
3. **modifiziert-komplexe** Regimes; d.h., "die Abflussganglinien, die sich flussabwaerts durch Ueberlagerung und Modifikation ergeben und jeweils individuelle Eigenschaften des einzelnen Flusses sind" (GRIMM 1968,2:51).

Unter "Komplexitaet" versteht PARDE die "Anzahl der Maxima und Minima einer Regimekurve": Einfache Regimes weisen ein Maximum und ein Minimum auf; sie sind **eingipflig**. Komplexe Regimes mit zwei und mehr Maxima und Minima sind **mehrgipflig**. Die Begriffe "einfach" und "komplex" moechten wir im folgenden nur noch fuer die Art der Regimesteuerung verwenden: Ein einfaches Regime weist einen dominanten Steuerfaktor oder - was haeufiger der Fall sein duerfte - mehrere, zeitlich gleichgerichtete Steuerfaktoren auf; komplexe Regimes unterliegen mehreren, zeitlich unterschiedlich wirkenden Steuerfaktoren. Es wird nun geprueft, ob sich die PARDEschen Komplexitaetsstufen als Kriterium fuer die Abgrenzung von Grundtypen eignen.

A 2.1. ORIGINALE UND MODIFIZIERTE REGIMES

Die PARDEschen Begriffe "original" und "modifiziert" stehen in direkter Beziehung zur Einzugsgebietsgrosse. Original ist ein Regime einer Abflussstation, wenn es als "Ergebnis" des unmittelbar benachbarten Raumausschnittes angesehen werden kann. Wir sprechen von **autochthonen** Regimes.

Aus der Sicht der Einzugsgebietsgrosse sind die Einzugsgebiete autochthoner Regimes kleiner als jene der modifizierten oder **allochthonen** Regimes, welche sich aus mehreren autochthonen und ev. sogar aus mehreren allochthonen Regimes zusammensetzen. Die allochthonen Regimes widerspiegeln individuelle Eigenschaften eines Flusses. Sie eignen sich deshalb fuer eine Typisierung mit anschliessender raeumlicher Uebertragung der gefundenen Typen nicht.

Nach GRIMM(1968,2:56) soll eine Regimetypisierung auf Einzugsgebieten zwischen 50 und 5000 km² - bei groesseren Massstaeben zwischen 50 und 500 km² - basieren. Die Betrachtungsdimension der vorliegenden Untersuchung ist mittelmassstaeblich, deshalb ist eine hohe raeumliche Aufloesung erforderlich: "Es ist vom

Massstab der Untersuchung abhaengig, bis zu welcher Groesse diese kleinen Fluesse als eigenbuertig (autochthon) anzusehen sind und wie gross die kleinsten Einheiten sein werden" (GRIMM 1968,1:19).

Mit unseren autochthonen Einzugsgebietsgrossen von 10 bis 500 km² sollte eine befriedigende Aufloesung erreicht werden. Die gewaehlten Flaechenbereiche bilden einen Kompromiss zwischen einer genuegend grossen Anzahl typisierbarer Einzugsgebiete und einem ausreichenden raeumlichen Detaillierungsgrad. Die untere Flaechenbegrenzung von 10 km² wurde nicht unterschritten, um eine allzu grosse Beeinflussung der Typisierung durch lokale Einzugsgebietsfaktoren zu vermeiden.

Es lassen sich also ein autochthoner und ein allochthoner Grundtyp unterscheiden, wobei der erstere fuer das weitere Vorgehen von Bedeutung ist.

A 2.2. ZUR GRUNTYPISIERUNG VERFUEGBARE STATIONEN

Um eine gewisse Vergleichbarkeit der zur Grundtypisierung herangezogenen Stationen und ihrer Regimekurven zu gewaehrleisten, haben wir die untenstehenden Anforderungen gestellt:

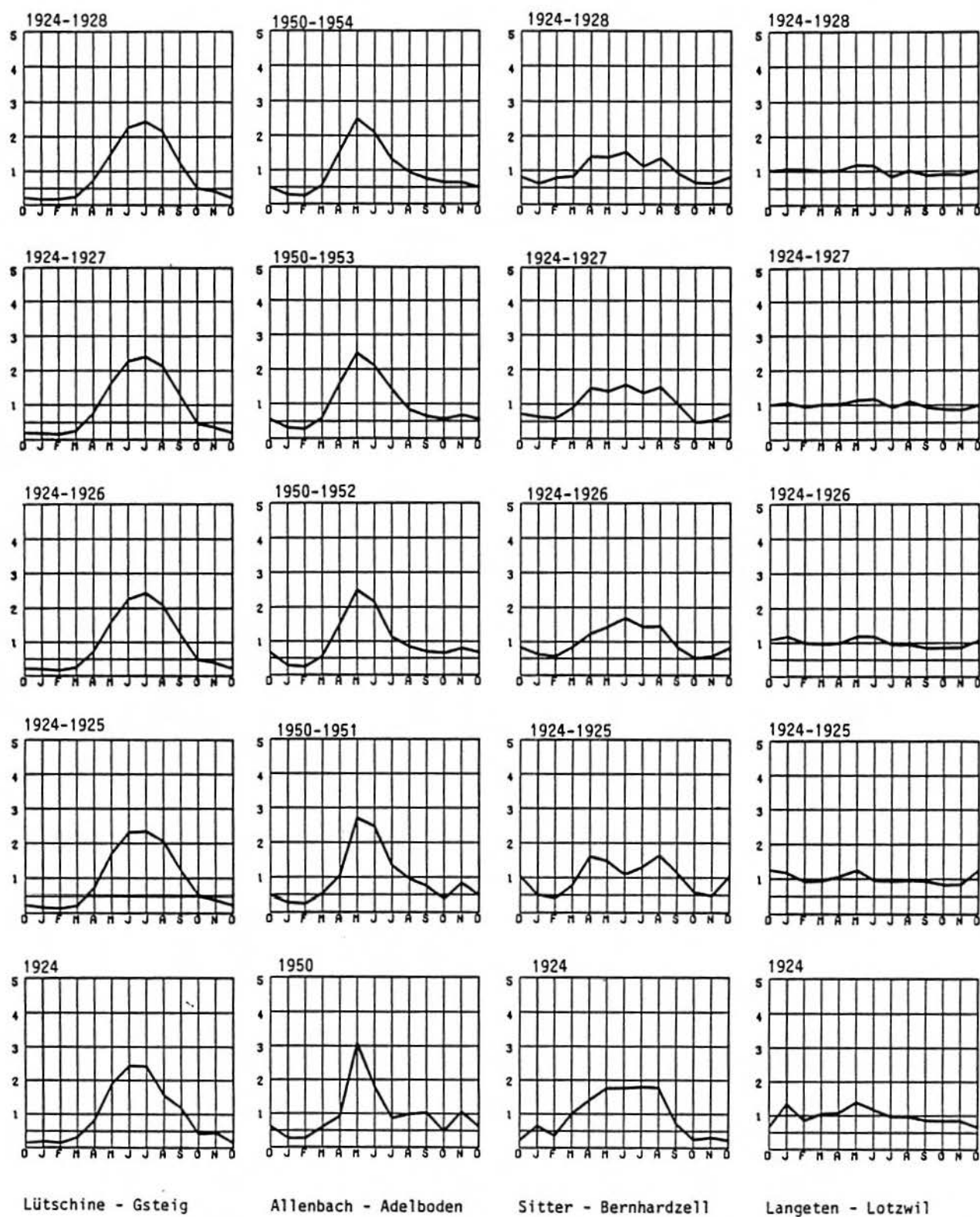
- Konsistenz und Homogenitaet der Daten (s. Kap. A 3.1.1.);
- autochthone Einzugsgebiete;
- naturnahe Einzugsgebiete: Bei Speicherseen und Ab- oder Zuleitungen werden flussabwaerts saemtliche quantitativen Aspekte der Oberflaechengewasser stark veraendert (VISCHER 1980:3). Daher werden nur Abfluesse aus naturnahen Einzugsgebieten beruecksichtigt.
- genuegend lange Beobachtungsdauer: Empirisch wurde eine Mindestbeobachtungsdauer von fuenf Jahren festgelegt. Wie die nachfolgenden Untersuchungen zeigen, ist diese minimale Beobachtungszeit eher knapp bemessen; sie genuegt aber, um eingipflige Regimes von mehrgipfligen zu unterscheiden: ein eingipfliges Regime hat sich naemlich in der Regel nach fuenf Jahren ausgebildet (s. Figur 4).

Von den rund 530 Stationen mit ca. 640 Abflussmessreihen genuegen rund 170 Messreihen unterschiedlicher Stationen diesen Anforderungen.

A 2.3. ERGEBNISSE DER GRUNTYPISIERUNG

Die von PARDE postulierten eingipfligen und mehrgipfligen Regimes koennen in der Stichprobe aufgedeckt werden. Sie unterscheiden sich in raeumlichen und nicht-raeumlichen Parametern entscheidend:

- **Notwendige Beobachtungsdauer:** Mehrgipflige Regimes muessen bedeutend laenger beobachtet werden (Faktor ca. 1.5), damit sie in derselben Genauigkeit vorliegen (Figur 5). Aus diesem Grund ist es nicht wuenschenwert, eingipflige und mehrgipflige Regimes in demselben Kollektiv zu betrachten.
- **Variationsbreite:** Der Mittelwert der Variationsbreiten der Abflussregimes ist bei den eingipfligen Regimes signifikant groesser als bei den mehrgipfligen. Eingipflige Regimes weisen einen sehr ausgepraegten jaehrlichen

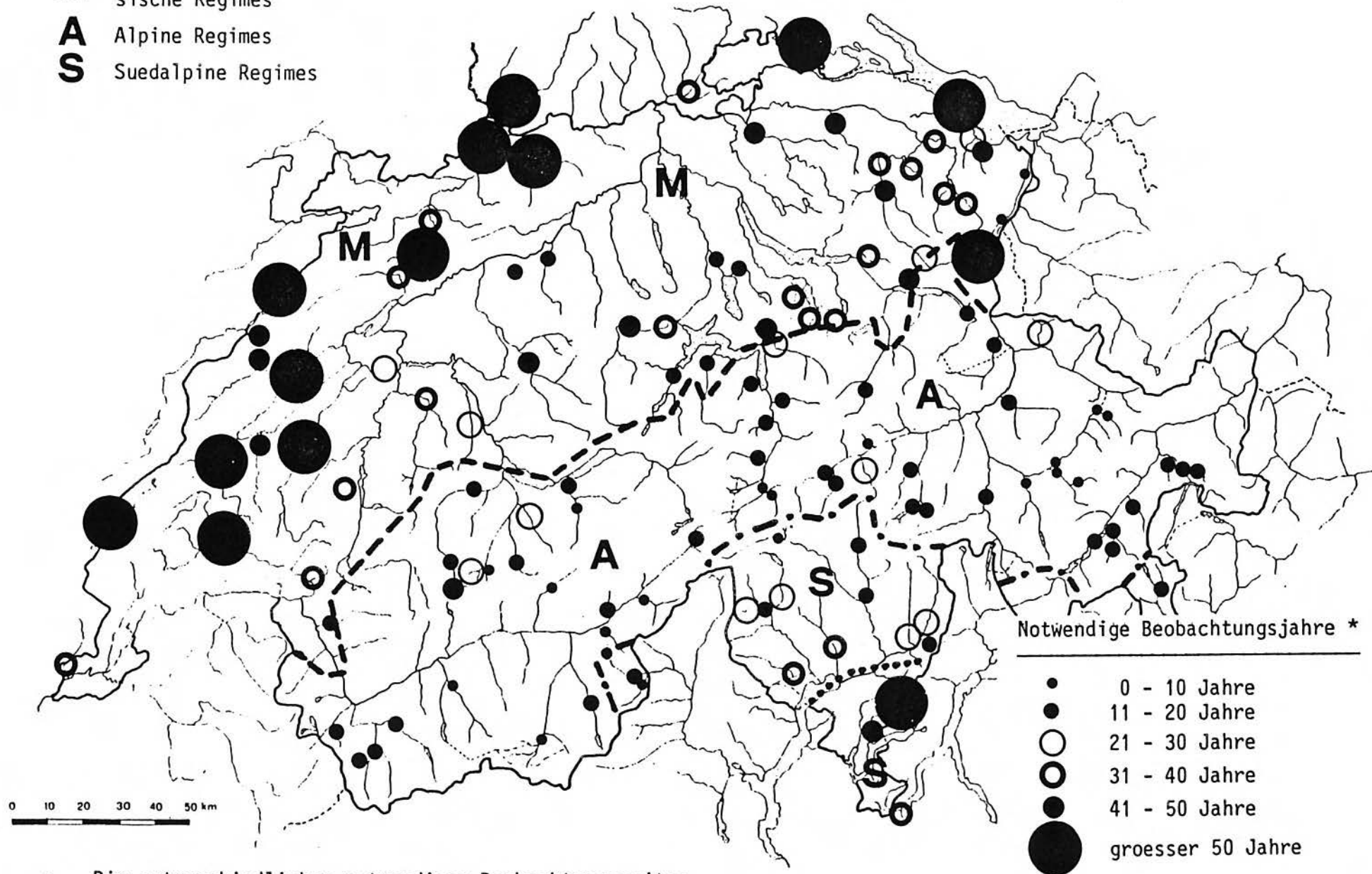


Figur 4. Zeitliche Entwicklung ein- und mehrgipfliger Regimes

M Mittellaendisch - juras-
sische Regimes

A Alpine Regimes

S Suedalpine Regimes



Figur 5. Die unterschiedlichen notwendigen Beobachtungszeiten ein- und mehrgipfliger Regimes und die Grundgliederung der schweizerischen Abflussregimes

(* Annahme: Genauigkeit der Monatskoeffizienten $\pm 15\%$ in 50 % der Faellen)

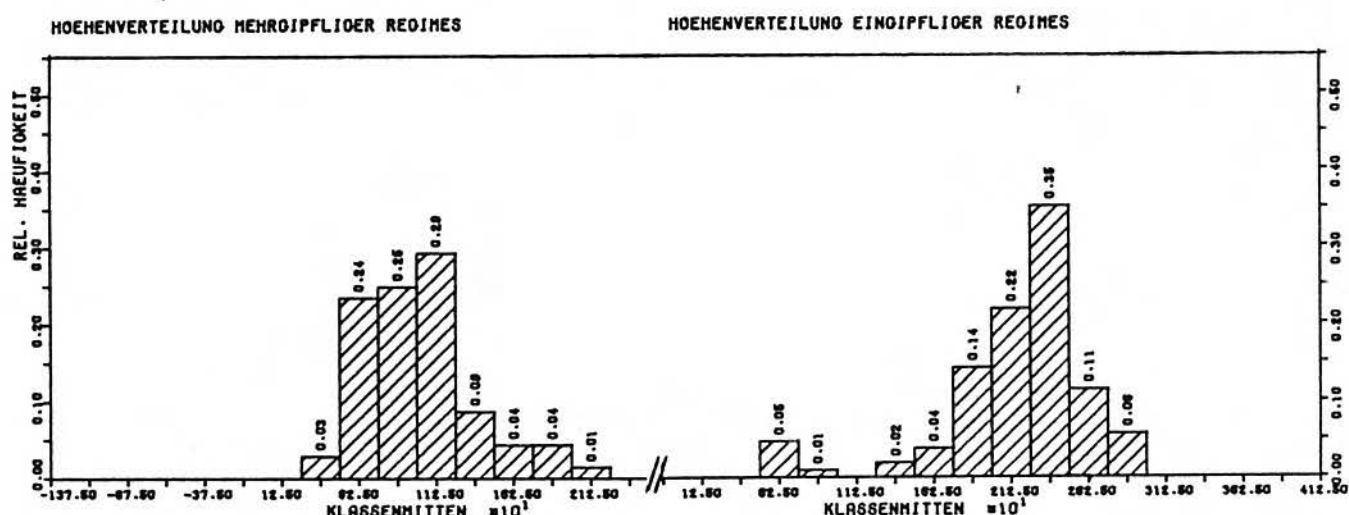
Abflussgang auf; bei den mehrgipfligen Regimes hingegen ist er ausgeglichener (Tab. 2).

- **Höhenabhängigkeit:** Die mittleren Einzugsgebietshöhen der eingipfligen Regimes sind signifikant grösser als jene der mehrgipfligen (s. Tab. 2).

Tabelle 2. Unterscheidungsmerkmale ein- und mehrgipfliger Regimes

| | EINGIPFLIGE REGIMES | MEHRGIPFLIGE REGIMES |
|--|------------------------|-------------------------|
| Anzahl Beobachtungen | 105 | 68 |
| Mittelwert der mittleren Einzugsgebietshöhen | 2159 m | 1019 m |
| Standardabweichung der mittleren Einzugsgebietshöhen | 47.5 m | 45.2 m |
| Mittelwert der Variationsbreiten der Koeffizienten | 2.49 | 1.08 |
| Standardabweichung der Variationsbreiten der Koeffizienten | 0.06 | 0.06 |

Die Figur 6 stellt die Höhenverteilung der ein- und mehrgipfligen Regimes dar: Bei den eingipfligen Regimes faellt ein Kollektiv von sechs Beobachtungen auf, die höhenmaessig aus dem Rahmen fallen (Klassenmitten 625 m und 875 m) und mittels statistischem Test als Ausreisser identifiziert werden.



Figur 6. Die Höhenverteilung ein- und mehrgipfliger Regimes

Diese Ausreisser bezeichnen wir als "pseudoeingipflige Regimes". Sie werden den mehrgipfligen Regimes zugeordnet, mit welchen sie aus der Sicht des Kurvenverlaufes, der Variationsbreite der Regimes und der mittleren Einzugsgebietshöhe stärker verwandt sind (Tab.3, Figur 7).

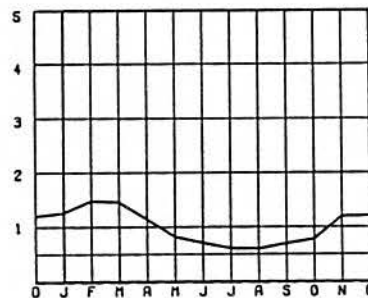
Rund 90% der Fluesse mit mehrgipfligen Regimes weisen eine mittlere Höhe zwischen 500 und 1500 m auf. Von den sieben Fluessen mit mittleren Höhen > 1500 m liegen fuenf im Einzugsgebiet des Tessins. Dies kann als Hinweis dafuer betrachtet werden, dass die Beziehung Höhe -> Regimeverlauf gewissen regionalen Unterschieden unterliegt.

Tabelle 3. Ausreisser aus der Stichprobe der eingipfligen Regimes

| Fluss | mH | V | Periode |
|---------------------|------|------|-----------|
| Biberkanal, Kerzers | 540m | 0.83 | 1956-1980 |
| Mentue, Yvonand | 679m | 1.75 | 1971-1980 |
| Broye, Payerne | 710m | 0.61 | 1920-1980 |
| Birs, Moutier | 930m | 0.63 | 1912-1980 |

mH: mittlere Einzugsgebietshoehe

V: Variationsbreite der Abflusskoeffizienten



Figur 7. Die pseudoeingipfligen Regimes - Beispiel Broye-Payerne: 710 m mittlere Hoehe, 1920 - 1980.

Trotz der grossen Beobachtungszeitspanne hat sich weder ein eindeutig eingipfliges noch ein eindeutig mehrgipfliges Regime ausgebildet. Im Gesamtverhalten besteht allerdings eine grosse Affinitaet zu den mehrgipfligen Regimes.

Im Rahmen dieser Untersuchung stellten wir auch eine hohe Korrelation zwischen der Variationsbreite der Regimes und der mittleren Einzugsgebietshoehe fest (Figur 8). Ueber das Regressionsmodell:

$$\text{Variationsbreite} = 0.01316 + 0.00112 \times \text{mittl. Hoehe}$$

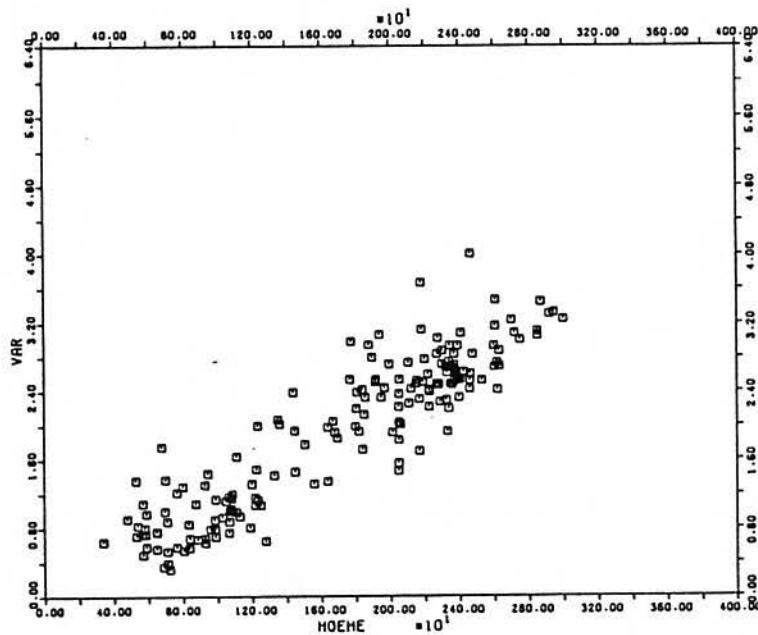
$$\text{Korrelationskoeffizient } r = 0.91$$

$$\text{Bestimmtheitsmass } B = 0.84$$

kann die Variationsbreite gut angenaehert werden. Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass dieses Modell wegen der oft kurzen Messreihen z.T. auf ungenauen Daten beruht.

A 2.4. REGIONALE GRUNDGLIEDERUNG

Die Untersuchung von WALSER(1960) deckt eine Zonierung der schweizerischen Abfluesse auf. Solche regionalen Unterschiede sind auch bei einer Grundtypisierung zu beachten, wobei vor allem die Unterschiede nordalpin <-> suedalpin von entscheidender Bedeutung sind (s. PARDE 1933:97):



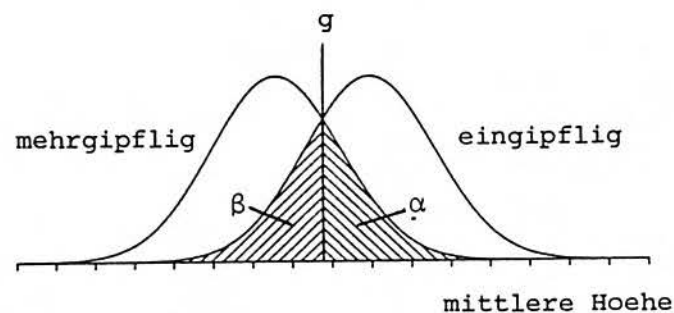
Figur 8. Diagramm Variationsbreite (VAR) - mittlere Hoehe

- Die nordalpine Zone umfasst die Einzugsgebiete des Rheins, der Limmat, der Reuss, der Aare, der Rhone und des Inn.
- Die suedalpine Zone jene des Ticino, der Adda und des Adiga.

A 2.4.1. Die nordalpine Zone

Von den rund 170 Stationen der Stichprobe liegen gegen 80% in der nordalpinen Zone. 77 Stationen dieser Teilstichprobe weisen ein eingipfliges Regime, 58 ein mehrgipfliges auf. Der Test auf Normalverteilung (KOLGOMOROV-SMIRNOV-Test) zeigt, dass bei der vorliegenden Stichprobe die mittleren Einzugsgebietshoehen und die Variationsbreiten der Koeffizienten sowohl bei den eingipfligen wie auch bei den mehrgipfligen Regimes normalverteilt sind.

Es wird nun jene mittlere Einzugsgebietshoehe gesucht, welche die eingipfligen Regimes von den mehrgipfligen Regimes optimal trennt (Figur 9).



Figur 9. Trennpunkt g der ein- und mehrgipfligen Regimes: Die Guete der Trennung kann mit den ALPHA- und BETA-Fehlern angegeben werden.

Ergebnis

Nordalpine Einzugsgebiete > 1550 m mittlerer Einzugsgebietshoehe weisen mit einer Wahrscheinlichkeit von 96% (1-BETA) ein eingipfliges Regime auf, waehrend bei Einzugsgebieten ≤ 1550 m mittlerer Hoehe mit einer Wahrscheinlichkeit von 97% (1-ALPHA) ein mehrgipfliges Regime erwartet werden darf.

Eingipflige Regimes weisen Variationsbreiten > 1.77 MQ(Periode), mehrgipflige solche ≤ 1.77 MQ(Periode) auf. Hier ergeben sich BETA-Fehler von 3% und ALPHA-Fehler von 5%.

Es lassen sich im nordalpinen Bereich zusammenfassend folgende Grundtypen erkennen:

1. nordalpine eingipflige Regimes, > 1550 m mittlerer Hoehe

==> A L P I N E REGIMES

2. nordalpine mehrgipflige Regimes, ≤ 1550 m mittlerer Hoehe

==> M I T T E L L A E N D I S C H -
J U R A S S I S C H E REGIMES

Die raeumliche Umsetzung dieser Grundtypen ergibt die Grundgliederung der Alpennordseite in die Zone der alpinen Regimes und in die Zone der mittellaendisch-jurassischen Regimes (s. Figur 5). Bei der kartographischen Darstellung lassen sich die Zonengrenzen nur annaehnern, da es nicht moeglich ist, die mittlere Einzugsgebietshoehe exakt zu kartieren.

A 2.4.2. Die suedalpine Zone

Infolge des kleinen Stichprobenumfangs ist hier eine Bestimmung der Grenzhoehe g nur unter Vorbehalt moeglich. Die berechneten Werte fuer die Stichprobe (15 eingipflige und 10 mehrgipflige Regimes) lauten:

- Grenzhoehe g: 1776 m
- ALPHA : 40 %
- BETA : 7 %

Die entsprechenden Werte der Variationsbreiten der Abflusskoeffizienten lauten:

- Grenzwert : 2.04
- ALPHA : 30 %
- BETA : 33 %

Die suedalpine Grenzhoehe ist sehr unsicher; der grosse ALPHA-Wert weist auf die nur bedingte Tauglichkeit der mittlerern Hoehe 1776 m als raeumliches Trennkriterium hin: Unter 1776 m mittlerer Hoehe werden wir zwar selten eingipflige Regimes finden, darueber aber sehr oft mehrgipflige. Es ist denkbar, dass die ausgepraegte Reliefenergie der Suedschweiz eine weit staerkere Verzahnung der ein- und mehrgipfligen Regimes bewirkt als noerdlich des Alpenkamms.

Trotz dieser Unsicherheiten bezueglich der suedalpinen Grenze bestaetigt der Vergleich der nord- und suedalpinen Grenzhoeen die Individualitaet der beiden Zonen: Die suedalpine Grenze liegt im Minimum 200 m hoeher.

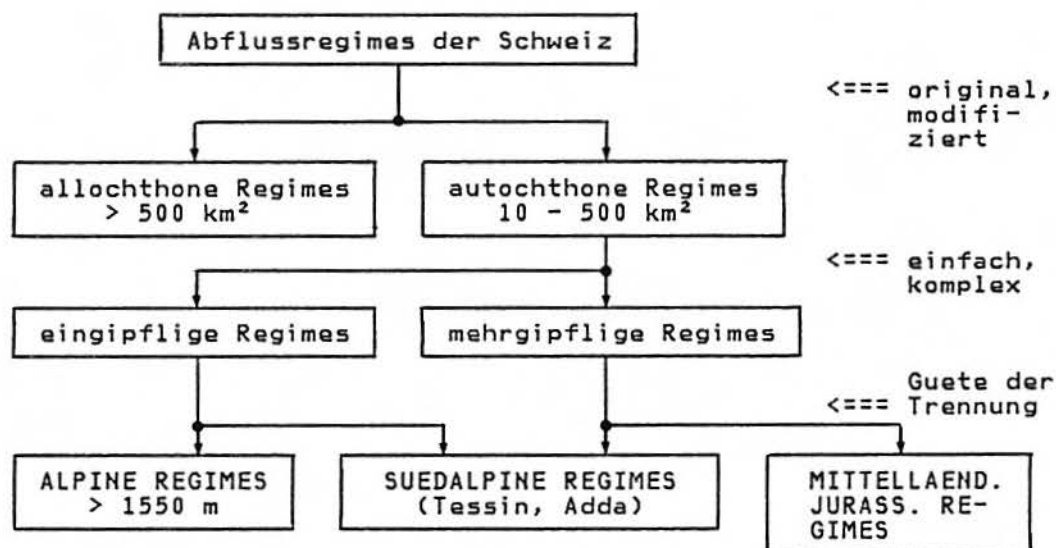
Suedlich einer Linie Locarno - Bellinzona finden wir ausschliesslich mehrgipflige Regimes.

Die suedalpine Zone muss infolge der schlechten Trennung der ein- und mehrgipfligen Regimes vorerst als Einheit betrachtet werden. Wir sprechen im folgenden von den

==> S U E D A L P I N E N REGIMES

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die von PARDE vorgeschlagenen Komplexitätsstufen 'eingipflig' und 'mehrgipflig' bilden eine gute Basis fuer eine Grundtypisierung der schweizerischen Regimes (Figur 10). Die drei Kollektive "Alpine Regimes", "Mittellaendisch-jurassische Regimes" und "Suedalpine Regimes" werden in der Folge getrennt analysiert (Teile I-III).



Figur 10. Vorgehen bei der Grundtypisierung und Grundgliederung. Am rechten Rand sind die auf dem Ansatz PARDE basierenden Ueberlegungen, welche das Vorgehen entscheidend beeinflusst haben, aufgefuehrt.

A 3. TYPISIERUNG DER ALPINEN ABFLUSSREGIMES

Nachdem in Kapitel A 2 die Grundtypen der schweizerischen Abflussregimes aufgezeigt wurden, sollen im folgenden die Voraussetzungen zu einer Regimetypisierung diskutiert und jene Methode dargestellt werden, die zur Typisierung der alpinen Fließgewässer geführt hat. Die räumliche Abgrenzung der in Frage kommenden Flussgebiete ist durch eine mittlere Einzugsgebietshöhe von über 1550 m gegeben.

A 3.1. DATENLAGE

Aus der Problemstellung (Abflussregimetypisierung) ergibt sich eine Reihe von Anforderungen an das Datenmaterial. Neben Fragen der Konsistenz und der Homogenität sind die Ermittlung der notwendigen Beobachtungszeit und allenfalls die Wahl einer Standardperiode von Bedeutung.

A 3.1.1. Homogenität, Konsistenz und Unabhängigkeit

Die bereitzustellenden Daten müssen konsistent und homogen sein. Daten sind dann **konsistent**, falls sie nicht durch Fehler bei der Messung (Defekte, Gerätewechsel, Stationsverlegung, Ablesefehler, Beobachterwechsel usw.) beeinflusst sind (DYCK 1980,1:47). Wegen der geforderten, empirischen Mindestbeobachtungsdauer von 5 Jahren für die Grundtypisierung konnten für die Regimetypisierung fast nur Daten der Landeshydrologie berücksichtigt werden. Nach EMMENEGGER und SPREAFICO(1979:215) sind die in den "Hydrographischen (Hydrologischen) Jahrbüchern" publizierten Daten konsistent.

Inhomogenitäten in den Messreihen entstehen durch plötzliche Naturereignisse (Hangrutschungen, Flächenbrand, Erdbeben), durch allmähliche Änderungen (Klimaschwankungen) und vor allem durch anthropogene Eingriffe in den Wasserhaushalt (Bau von Speicheranlagen, Meliorationen, Flusskorrekturen). Starke Inhomogenitäten wie Sprünge (verursacht durch Wasserab- oder Zuleitungen oder Bau von Speicherbecken zur Nutzung der Wasserkraft) werden in den "Hydrographischen (Hydrologischen) Jahrbüchern" publiziert. Man eliminiert solche Inhomogenitäten dadurch, dass man die Messreihe in Teilreihen zerlegt und nur noch die Reihe vor dem jeweiligen Eingriff betrachtet. Inhomogenitäten, hervorgerufen durch allmähliche Änderungen der Wasserhaushaltskomponenten oder der sie bedingenden Faktoren, müssen mit einer Homogenitätsprüfung aufgedeckt werden.

Manchmal ist die **Normalverteilung** Voraussetzung zur Durchführung dieser Tests. Zahlreiche Untersuchungen in neuerer Zeit haben gezeigt, dass sich die PEARSON-III-Verteilung für die Beschreibung von Abflussbeobachtungsreihen am besten eignet (ROSENBERG 1979:20). Für die monatlichen Abflusskoeffizienten, gebildet aus $MQ(\text{Monat})/MQ(\text{Jahr})$, darf erwartet werden, dass sie ebenfalls diesem Verteilungsgesetz folgen.

Die PEARSON-III-Verteilung kann durch verschiedene Approximationen an die Normalverteilung angeglichen werden (FISCHER, WILSON, HILFERTY). ROSENBERG (1979:21) hat bei seiner Arbeit für den "Hydrologischen Atlas der Bundesrepublik Deutschland" festgestellt, dass bei Anwendung der Normalverteilung an-

stelle der PEARSON-III-Verteilung nach der Approximation durch WILSON-HILFERTY) der Fehler bei einer Wahrscheinlichkeit von 0.95 kleiner als 3 % ist, falls:

$$(I) \quad n > 50 \times C_v^2 \quad \text{wobei: } C_v \text{ Variationskoeffizient} \\ n \text{ Anzahl Beobachtungsjahre}$$

Bei einer statistischen Analyse von Abflussdaten wird die Beziehung $Q(t)=Z$ verwendet. Damit wird angenommen, dass die Abflüsse $Q(t)$ rein zufällig, d.h., voneinander unabhängig sind (DYCK 1980,1:78). Man weiss aber, dass diese Voraussetzung nicht ueberall erfuehrt ist. Deshalb muss die Unabhaengigkeit der Daten ebenfalls ueberprueft werden.

Tabelle 4. Angewandte Testverfahren

| TESTZIEL | METHODE | LITERATUR |
|------------------|---|---|
| Normalverteilung | Kolmogorv-Smirnov-Test Chiquadrat-Test | KREYSZIG(1968) DYCK(1980),BAH- RENBURG(1975) |
| Unabhaengigkeit | Berg- und Taltest Signifikanz des Autokor- relationskoeffizienten 1. Ordnung | RIEDWYL(1975) BAHRENBURG(1975), RIEDWYL(1975) |
| Homogenitaet | Abbe-Test | RIEDWYL(1975), DYCK(1980) |
| Linearer Trend | Signifikanz des Regres- sionskoeffizienten | RIEDWYL(1980) |

Die Resultate der in Tabelle 4 zusammengestellten Testverfahren koennen wie folgt dargestellt werden:

1. Die monatlichen Abflusskoeffizienten sind zu ueber 80 % normalverteilt. Die Ausnahmen betreffen meist die pluvial beeinflussten Koeffizienten der Herbstmonate. Diese Koeffizienten koennen - falls die Bedingung (I) erfuehrt ist - mit kleinem Fehler durch die Normalverteilung approximiert werden.
2. Der Berg- und Taltest sowie der Signifikanztest des Autokorrelationskoeffizienten 1. Ordnung bestaetigen i.allg. die Unabhaengigkeit der einzelnen Monatskoeffizienten (s. Kap. A 3.3.).
3. Der Signifikanztest des Regressionskoeffizienten erweist sich als gutes Kriterium zum Aufdecken von Imhomogenitaeten. Solche Messreihen wurden entsprechend verkuerzt oder bei der weiteren Bearbeitung nicht mehr beruecksichtigt.

Es bleibt abschliessend festzuhalten, dass sich Trends in den monatlichen Abflusskoeffizienten nicht gleich niederschlagen wie in den Abflusswerten selbst.

A 3.1.2. Notwendige Beobachtungsdauer

Nach der Pruefung auf Homogenitaet der Messreihen stellt sich die Frage nach der notwendigen Beobachtungszeit zur Ermittlung aussagekraeftiger Abflussregi-

mes. Dies ist gleichbedeutend mit der Frage nach jener Genauigkeit der Abflusskoeffizienten, mit der man das Charakteristische des Jahresverlaufs des Abflusses erkennen kann. Je detaillierter die Typisierung ist, desto groessere Anforderungen muessen an die Genauigkeit der Daten gestellt werden. Statistisch gesehen handelt es sich um das Problem des Schaetzens des Stichprobenumfangs normalverteilter Zufallsvariablen. Nach RIEDWYL(1975:143) gilt zur Aufdeckung einer Mittelwertsdifferenz $d=\mu-x_0$ folgendes (Einstichprobenfall, Vorgabe einer bestimmten Wahrscheinlichkeit):

$$(II) \quad n = \frac{s^2}{(\mu-x_0)^2} (z_{1-\alpha} + z_{1-\beta})^2$$

| | |
|-----------------|--------------------------------------|
| α, β | Fehler 1. und 2. Art |
| z | Quantil der Standardnormalverteilung |
| s^2 | Varianz der Zufallsvariablen |
| μ | Mittelwert der Zufallsvariablen |
| x_0 | Mittelwert der Stichprobe |
| n | Anzahl Beobachtungen |

Fuer die vorliegende Anwendung wollen wir nicht eine Mittelwertsdifferenz d mit einer grossen Wahrscheinlichkeit aufdecken, sondern eine kleine Abweichung $d'=\mu-x_0$ zulassen. Der Fehler 2. Art entfaellt somit und wir erhalten durch Setzen von:

$$a) \quad I = \frac{(\mu-x_0)}{x_0} \times 100$$

$$b) \quad C_v = \frac{s}{x_0} \cdot 100$$

die modifizierte Formel (ROSENBERG 1979:20):

$$(III) \quad N = \frac{C_v^2}{I^2} \cdot z_{1-\alpha}^2$$

| | | |
|-------|----------------|---------------------------------------|
| wobei | N | Beobachtungsdauer |
| | C_v | Variationskoeffizient |
| | I | prozentuale Abweichung vom Mittelwert |
| | α | Sicherheitsmass |
| | $z_{1-\alpha}$ | Quantil der Standardnormalverteilung |

Fuer Abflussbeobachtungsreihen, deren Abflusskoeffizienten normalverteilt sind oder der Bedingung (I) genuegen, kann bei Vorliegen einer groben Schaetzung des Variationskoeffizienten C_v fuer eine bestimmte Genauigkeit I die notwendige Beobachtungsdauer berechnet werden.

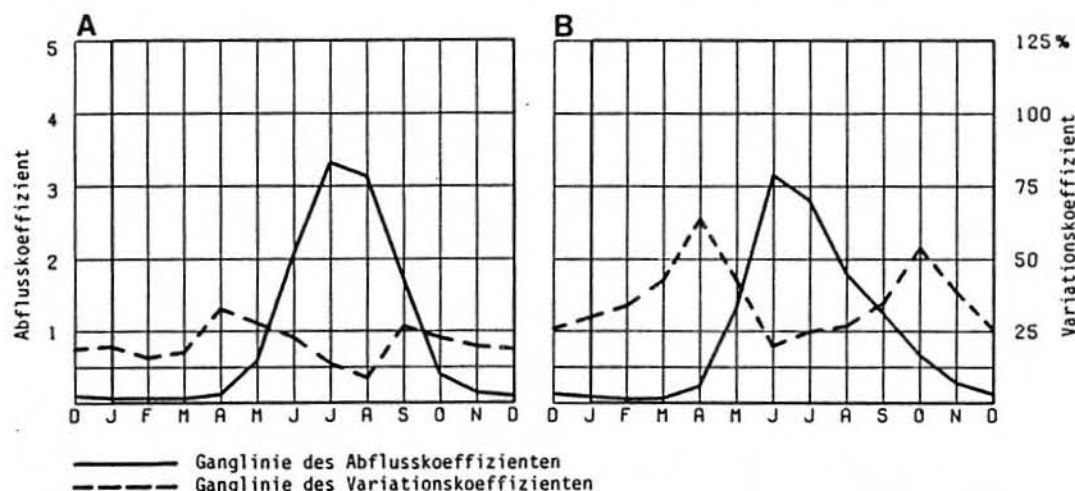
Die Tabelle 5 gibt eine Uebersicht der notwendigen Beobachtungszeiten bei festem Variationskoeffizient fuer verschiedene Genauigkeiten und bei einer Wahrscheinlichkeit von 95 %.

Die Berechnung der notwendigen Beobachtungsdauer ist nur moeglich, wenn eine Schaetzung der Varianz oder des Variationskoeffizienten vorliegt. Fuer rund 150 autochthone Flussgebiete mit einer Beobachtungszeit von mehr als 10 Jahren wurden die statistischen Kennzahlen berechnet.

Tabelle 5. Notwendige Beobachtungsdauer bei festem Variationskoeffizienten fuer verschiedene Genauigkeiten

| I | VARIATIONSKOEFFIZIENT (%) | | | | | | | |
|----|---------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 5 | 15 | 61 | 138 | 246 | 384 | 553 | 753 | 983 |
| 10 | 4 | 15 | 35 | 61 | 96 | 138 | 188 | 246 |
| 15 | 2 | 7 | 15 | 27 | 43 | 61 | 84 | 109 |
| 20 | 1 | 4 | 9 | 15 | 24 | 35 | 47 | 61 |

I Genauigkeit: prozentuale Abweichung vom Mittelwert



Figur 11. Abflusskoeffizienten und Variationskoeffizienten

A Matter Vispa, Zermatt 1950-1960

B Somvixer-Rhein, Alp Sutglatsher 1932-1974

Aus der Sicht der alpinen Regimes laesst sich hinsichtlich der Variationen der Abflusskoeffizienten folgendes festhalten (s. Figur 11):

- Die monatlichen Variationskoeffizienten schwanken in der Regel zwischen 10-50 % und erreichen in Ausnahmefaelen 70 %.
- Der Jahresgang der Variationskoeffizienten ist dem Abflussregime entgegengesetzt: dem Maximum der Abflusskoeffizienten entspricht ein Minimum der Variationskoeffizienten (vgl. Figur 11). Die Maximalabfluesse der alpinen Fliessgewaesser weisen demnach die kleinsten Variationen auf.
- Der Kurvenverlauf des Variationskoeffizienten zeigt im weiteren zwei Maxima, die jeweils im aufsteigenden und absteigenden Ast des Jahresganges des Abflusses auftreten. Vielfach ist das Maximum im Herbst sogar staerker ausgepraegt und gegen den Winter hin verschoben: Die Abfluesse zu Beginn der der Schneeschmelze und waehrend den etwas pluvial beeinflussten Herbstmonaten zeigen weitaus groessere Variationen als die Abflussspitzen.
- Zur Zeit der winterlichen Minimalabfluesse registriert man ein zweites Minimum im Jahresgang der Variationskoeffizienten. Neben dem Abflussmaximum weisen somit auch die Minimalabfluesse kleine Variationen auf.

Die Frage, welche Genauigkeit nun von den einzelnen Monaten gefordert werden muss, um das Charakteristische des Abflussganges zu erkennen, laesst sich nicht 'a priori' beantworten. Bei den eingipfligen, alpinen Abflussregimes sind die Lage und das Ausmass des Maximums, die Lage des Minimums und allenfalls die Spannweite zwischen Maximum und Minimum die herausragenden Merkmale des Abflussverlaufs. Die dazugehoerenden Abflusskoeffizienten sollten mit grosser Genauigkeit vorliegen. Allerdings unterscheiden sich die Abflusskoeffizienten

in den Wintermonaten Januar bis Maerz um weniger als 10 %. Bei einer gewünschten Genauigkeit von 5 % fuer die Wintermonate resultieren bei Variationskoeffizienten zwischen 25-35 % Beobachtungszeiten von rund 100 Jahren (vgl. Tab. 5). Teilweise unterscheiden sich auch die Koeffizienten der Maximalabfluesse nur wenig, sodass in Hinblick auf die Datenlage ein Kompromiss angestrebt wurde: bei einer vertretbaren Genauigkeit sollten eine genuegend grosse Anzahl Abflussmessreihen zur Typisierung herangezogen werden koennen.

Die geforderten Genauigkeiten fuer die einzelnen Phasen des Jahresabflussganges wurden aufgrund von Voruntersuchungen empirisch wie folgt festgelegt:

- | | | |
|--|---------|------------------|
| 1.) Monate mit Maximalabfluss | JUN-AUG | 10 % Genauigkeit |
| 2.) Monate im aufsteigenden u. absteigenden Ast des Maximums | MAI/SEP | 15 % Genauigkeit |
| 3.) Monate mit Minimalabfluss | JAN-MRZ | 20 % Genauigkeit |

Die maximale Beobachtungsdauer dieser drei Forderungen, berechnet aus den jeweiligen Variationskoeffizienten, ergibt die empirisch notwendige Beobachtungsdauer zur Ermittlung von eingipfligen Abflussregimes. Die Resultate dieser Berechnungen sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

A 3.1.3. Problem der Standardperiode

Fuer die Untersuchung verschiedener klimatologischer und hydrologischer Erscheinungen hat die Weltorganisation fuer Meteorologie (WMO) die Benutzung des Zeitabschnittes 1931-1960 als Standardperiode empfohlen. Wir moechten dazu aus der Sicht unserer Arbeit einige Ueberlegungen anfuehren:

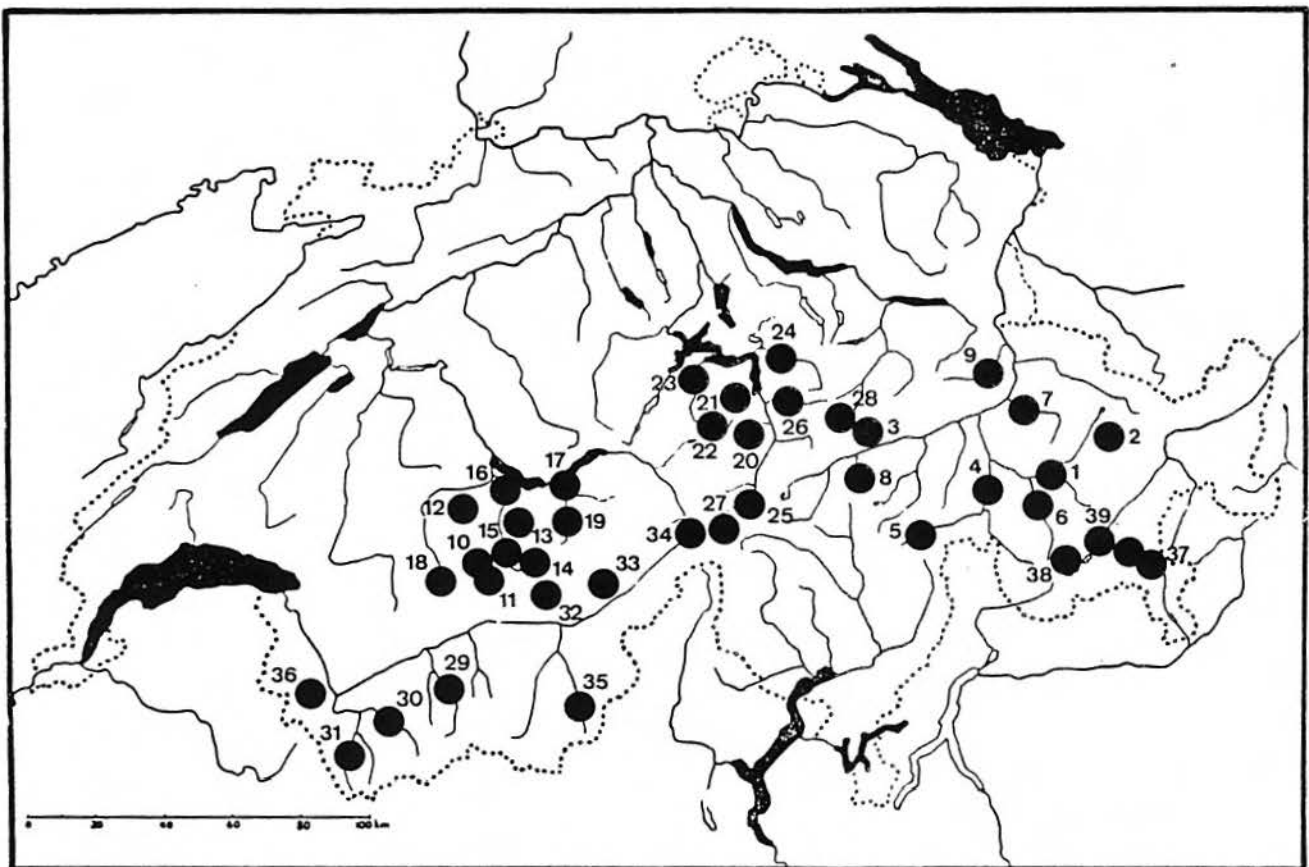
- Wichtiger als das Einhalten einer Standardperiode scheint uns die Genauigkeit der Daten zu sein, da bei der Verwendung von Standardperioden unter Umstaenden Daten verschiedener, z.T. ungenuegender Genauigkeit verglichen werden. In einem Raum mit grossen naturraeumlichen Gegensaelten gewaehrt ein einheitlicher Zeitabschnitt nicht unbedingt auch gleichwertige Information fuer die Ermittlung bestimmter Abflussgroessen. Ein gutes Beispiel fuer diesen Aspekt liefern ja die unterschiedlichen notwendigen Beobachtungszeiten der alpinen Flusslaeufer.
- Fuer gewisse Arbeiten ist eine grosse Messnetzdichte vorrangig. Eine Regimetypisierung zum Beispiel erfordert eine moeglichst grosse Anzahl von Messreihen, da sonst unueberwindliche Probleme bei der Raumgliederung auftreten. Das Einhalten der Standardperiode wuerde aber die zur Verfuegung stehenden autochthonen Messreihen weiter einschraenken.
- Im schweizerischen Alpenraum setzt vor allem innerhalb der Standardperiode 1931-60 eine rege Bautaetigkeit zur Ausnuetzung der Wasserkraefte ein. Messreihen dieser Standardperiode sind deshalb in den wenigsten Faellen homogen.

Aus den obgenannten Gruenden und um die Datengrundlage nicht weiter einzuengen, verzichten wir auf die Einhaltung der empfohlenen Standardperiode und verwenden alle Messreihen ab 1917, die die notwendige Beobachtungszeit aufweisen und alle Kriterien hinsichtlich Homogenitaet erfuellen.

A 3.1.4. Repraesentative Stationen

Im folgenden wird eine Abflussstation repraesentativ genannt, falls die dazugehoerende Messreihe und das entsprechende Flussgebiet die folgenden Voraussetzungen erfuellen:

1. Abflussmessreihe homogen und konsistent;
2. Abfluss anthropogen unbeeinflusst;
3. Die monatlichen Abflusskoeffizienten erfuellen die Genauigkeitsanforderung (Kap. A 3.1.2.): die notwendige Beobachtungszeit wird erreicht oder ueberschritten;
4. Flussgebiet autochthon (10-500 km²).



Figur 12. Raeumliche Lage der repraesentativen Stationen: Die Nummern beziehen sich auf die Angaben in Tabelle 6.

Stationen und ihre Messreihen, die diese Anforderungen erfuellen, werden zur Typisierung der alpinen Fliessgewaesser herangezogen. Tabelle 6 vermittelt eine Aufstellung der verwendeten Messreihen; Figur 12 gibt eine geographische Uebersicht ueber die Lage der repraesentativen Flussgebiete.

Tabelle 6. Repraesentative Stationen

| | Nr | Fluss | Messstelle | T | N | FN | MH | G |
|----------------------------|----|----------------------|-----------------|---------|----|-----|------|------|
| R H E I N | 1 | Albula | Tiefencastel | 1926-80 | 15 | 529 | 2120 | 1.6 |
| | 2 | Dischmabach | Davos | 1964-80 | 17 | 43 | 2372 | 2.6 |
| | 3 | Ferrerabach | Trun | 1963-80 | 15 | 12 | 2461 | 18.3 |
| | 4 | Hinterrhein | Andeer | 1923-59 | 28 | 503 | 2250 | 5.0 |
| | 5 | Hinterrhein | Hinterrhein | 1945-80 | 20 | 54 | 2360 | 17.3 |
| | 6 | Julia | Tiefencastel | 1919-48 | 24 | 325 | 2190 | 1.7 |
| | 7 | Plessur | Chur | 1931-80 | 24 | 263 | 1850 | 0 |
| | 8 | Somvixer Rhein | Alp Sutglatzsch | 1932-74 | 32 | 23 | 2410 | 9.5 |
| | 9 | Tamina | Vaettis | 1959-75 | 17 | 58 | 2106 | 5.2 |
| A A R E | 10 | Allenbach | Adelboden | 1950-80 | 22 | 29 | 1856 | 0 |
| | 11 | Engstligenbach | Engstligenalp | 1950-65 | 15 | 14 | 2300 | 11.0 |
| | 12 | Filderich | Riedli | 1954-81 | 22 | 81 | 1695 | 0 |
| | 13 | Gornernbach | Kiental | 1950-80 | 9 | 26 | 2270 | 17.3 |
| | 14 | Kander | Gasterntal | 1950-80 | 31 | 15 | 2600 | 43.5 |
| | 15 | Kander | Kandersteg | 1917-80 | 17 | 143 | 2340 | 24.0 |
| | 16 | Kander | Hondrich | 1917-81 | 20 | 495 | 1840 | 8.0 |
| | 17 | Luetschine | Gsteig | 1924-80 | 8 | 379 | 2050 | 19.5 |
| | 18 | Simme | Oberried | 1944-80 | 15 | 36 | 2370 | 38.2 |
| | 19 | Weisse Luetschine | Zweiluetschin. | 1933-80 | 9 | 164 | 2170 | 20.8 |
| R E U S S | 20 | Alpbach | Erstfeld | 1961-80 | 10 | 21 | 2200 | 25.6 |
| | 21 | Grosstalbach | Isenthal | 1957-80 | 15 | 21 | 1820 | 9.1 |
| | 22 | Engelberger Aa | Engelberg | 1955-80 | 10 | 85 | 1970 | 11.4 |
| | 23 | Engelberger Aa | Bueren | 1923-80 | 10 | 219 | 1640 | 5.2 |
| | 24 | Muota | Ingenbohl | 1923-80 | 35 | 316 | 1360 | 0 |
| | 25 | Reuss | Andermatt | 1919-45 | 17 | 192 | 2280 | 10.5 |
| | 26 | Schaechen | Buerglen | 1930-66 | 12 | 95 | 1800 | 4.2 |
| | 27 | Witenwassererenreuss | Realp | 1957-80 | 19 | 31 | 2427 | 11.3 |
| | | | | | | | | |
| L I M M A T | 28 | Linth | Tierfehd | 1918-61 | 17 | 76 | 2330 | 23.9 |
| | | | | | | | | |
| R H O N E | 29 | Borgne | La Lurette | 1926-62 | 14 | 231 | 2620 | 25.0 |
| | 30 | Drance de Bagnes | Le Chable | 1922-56 | 20 | 254 | 2630 | 31.6 |
| | 31 | Drance de Ferret | Branche d'haut | 1956-73 | 13 | 67 | 2340 | 12.3 |
| | 32 | Lonza | Blatten | 1956-80 | 17 | 79 | 2630 | 40.6 |
| | 33 | Massa | Massaboden | 1925-64 | 20 | 202 | 2920 | 67.6 |
| | 34 | Rhone | Gletsch | 1956-80 | 19 | 39 | 2719 | 56.4 |
| | 35 | Saaser Vispa | Zermeigern | 1922-63 | 27 | 65 | 2850 | 41.5 |
| | 36 | Salanfe | Montagne d. S. | 1929-49 | 21 | 18 | 2320 | 7.0 |
| | | | | | | | | |
| I N N | 37 | Berninabach | Pontresina | 1955-80 | 16 | 107 | 2617 | 19.7 |
| | 38 | Inn | Sils | 1921-32 | 11 | 47 | 2359 | 9.2 |
| | 39 | Inn | St. Moritzbad | 1917-80 | 22 | 155 | 2400 | 8.6 |
| | 40 | Rosegbach | Pontresina | 1960-80 | 13 | 67 | 2716 | 32.8 |

T Messperiode
 N Anzahl notwendiger Beobachtungsjahre
 FN Einzugsgebietsgroesse in qkm
 MH Mittlere Einzugsgebietsshoehe in m
 G Vergletscherung in %

A 3.2. REGIMETYPISIERUNG MIT DISTANZGRUPPIERUNGSVERFAHREN

Neben den klassischen Typisierungsverfahren von PARDE(1933), KELLER(1968), GRIMM(1968) und GAUDET(1975) soll hier auch ein statistischer Ansatz zur Regimetypisierung vorgestellt werden.

Klassifikationsprobleme treten in der Geographie haeufig auf, wenn aus einer Gesamtmenge von Raumeinheiten Gruppen zu bilden sind, so dass

1. die Raumeinheiten innerhalb einer Gruppe moeglichst kleine Unterschiede aufweisen und
2. die Unterschiede zwischen den Gruppen aber moeglichst gross werden (BAHRENBURG und GIESE 1975:259f).

Man kann dieses Klassifikationsproblem versuchsweise auf eine Regimetypisierung uebertragen: der Jahresgang des Abflusses, repraesentiert durch die 12 Monatskoeffizienten, soll so gruppiert werden, dass die Unterschiede in den Gruppen klein, zwischen den Gruppen aber gross werden.

Bei den konventionellen Typisierungsverfahren wird eine Variablenhierarchie definiert und die Beobachtungen mit Hilfe von Schwellenwerten klassiert (RASE 1975:47f). Die Schwaechen dieses Verfahrens liegen in der Definition der Variablenhierarchie und im Festlegen der Schwellenwerte.

Die in der Geographie haeufig angewandten Verfahren der Distanzgruppierung weisen diese Schwaechen nicht auf:

- Anstelle von gesetzten Schwellenwerten wird die tatsaechliche Verteilung der Variablen fuer die Abgrenzung verwendet.
- Alle Variablen sind gleichberechtigt; es existiert also keine Variablenhierarchie.
- Das Verfahren ist objektiv.

Distanzgruppierungsverfahren (Clusteranalysen) gehen davon aus, dass Beobachtungen umso aehnlicher sind, desto naeher sie in einem m-dimensionalen Vektorraum, aufgespannt durch die m Variablen, beeinanderliegen. Als Mass der Aehnlichkeit werden mehrdimensionale Distanzmasse verwendet (zB. Euclidische Distanz, Minkowski-Metrik, Mahalanobisdistanz, Chiquadrat-Statistiken usw.).

Durchgefuehrte Untersuchung und Resultate

Mit den Messreihen der repraesentativen Stationen wurde eine Clusteranalyse durchgerechnet. Dabei spannen die 12 Monatskoeffizienten einen 12-dimensionalen Vektorraum auf. Als Aehnlichkeitsmass dient die Euclidische Distanz, als Verknuepfungsalgorithmen werden sowohl das 'nearest neighbor'-Verfahren als auch und das Centroidverfahren gewaehlt. Die Resultate lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Das 'nearest neighbor'- und das Centroidverfahren liefern im vorliegenden Fall praktisch dieselben Resultate.
- Die Distanzen zwischen den Beobachtungen oder den Gruppen nehmen gleichmaessig zu; eine Gruppenbildung findet demnach nicht statt. Durch die gleichmaessige Distanzzunahme fehlt auch ein objektives Kriterium, um das Verfahren abzubrechen.

- Auch die Anwendung eines k-Clusterverfahrens, bei dem die Gruppierungszentren vorgewählt werden können, brachte keine Verbesserung der Resultate.

Fazit: Eine Typisierung der alpinen Fließgewässer mit den Distanzgruppierungsverfahren ist demnach nicht sinnvoll. Wo liegen die Gründe für dieses negative Resultat? Es ist zu beachten, dass eine Reihe von Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit eine Clusteranalyse durchgeführt werden kann:

1. Distanzmasse lassen sich dann leicht berechnen, falls die Koordinatenachsen (Variablen) orthogonal sind. Da die Variablen nicht immer rechtwinklig zueinander stehen (also unkorreliert sind), empfiehlt es sich, von rechtwinkligen Faktoren oder Hauptkomponenten auszugehen (BAHRENBURG und GIESE 1975:260), die man durch eine Faktorenanalyse gewinnen kann (UEBERLA 1971). Bei der Faktorenanalyse müssen selbst wieder Voraussetzungen erfüllt sein, die eine Transformation der Daten bedingen. Im Endeffekt wird beim Distanzgruppierungsverfahren mit mehrfach transformierten Variablen (Normalität, Standardisierung, Hauptkomponentenanalyse) gerechnet. Gerade zu diesem Problem äußert sich VOGEL(1975:10) in seiner Arbeit "Probleme und Verfahren der numerischen Klassifikation" wie folgt:

"Eine Transformation kann jedoch das Klassifikationsergebnis in kaum vorhersehbarer Weise beeinflussen... . Durch die Standardisierung der m Merkmale und die damit verbundene Streckung bzw. Stauchung der dazugehörigen Koordinatenachsen, kann sich die Form der als Punktwolken im m-dimensionalen Raum vorstellbaren Klassen von Elementen erheblich verändern; es ist denkbar, dass vor der Standardisierung wohlseparierte Punktwolken durch die Standardisierung zusammenrücken und unter Umständen keine klare Trennung mehr möglich ist."

2. Die Tatsache, dass bei den Distanzgruppierungsverfahren alle Variablen als gleichgewichtet in die Berechnung eingehen, erweist sich für die eingipfligen Regimes als ungünstig. Die Aussage von GAUDET(1975:228), wonach sich die Minimalabflüsse von Oktober bis April für eine Typisierung nicht eignen, wird erhärtet. Entscheidend sind die Sommermonate mit den differenzierteren Abflusskoeffizienten. Während dieser Zeit fließen 70-90 % der Jahresabflusssumme ab.
3. Eine Clusteranalyse mit nur fünf Variablen (MAI-SEP) brachte leichte, aber nicht entscheidende Verbesserungen der Resultate. Dies liegt darin begründet, dass Distanzgruppierungsverfahren mit absoluten Werten rechnen. So kommt es vor, dass zwei Messreihen mit unterschiedlicher Rangfolge der Monatskoeffizienten gleich klassiert werden, eine weitere Messreihe mit identischer Rangfolge aber in eine andere Klasse fällt, bloss weil die Summe aller Abweichungen grösser ist als bei jener Messreihe, deren Rangfolge zwar nicht stimmt, deren Abweichungen insgesamt aber etwas kleiner sind.

Aus diesen Gründen wurden die Möglichkeiten der multivariaten Typisierungsverfahren für die alpinen Fließgewässer nicht weiter verfolgt und konventionelle Typisierungsverfahren bevorzugt.

A 3.3. VORGEHEN BEI DER TYPISIERUNG DER ALPINEN REGIMES

Das schliesslich gewählte Typisierungsverfahren ist von GAUDET(1975) inspiriert, welche mit ihrem verblüffend einfachen Ansatz sehr gute Resultate er-

zielt. Der Ansatz wurde in Kapitel A 2 bereits gewuerdigt, so dass hier nur nochmals die wichtigsten Merkmale zusammenfassend aufgefuehrt sind:

- Typisierung aufgrund der Rangfolge der das Regime praegenden Monate Mai bis September,
- induktives Vorgehen.

GAUDET(1975:228-229) selbst charakterisiert ihren Ansatz folgendermassen: "Le classement habituel par ordre des débits a été exposé par M. PARDE. Nous allons voir qu'il correspond très précisément avec un classement par taux d'englacement des bassins... . Le classement des différents nuances du régime glaciaire se fait par le rang qu'occupent les mois d'été dans la série annuelle des débits."

Die in Kapitel A 2 erwaehten Kritikpunkte zu GAUDET's Methode haben wir beruecksichtigt: die zur Typisierung verwendeten Daten sind mindestens 10% bzw. 15% genau und entstammen autochthonen Einzugsgebieten.

Der Ansatz von GAUDET soll nun in drei Schritten verfeinert und auf die ganze alpine Zone erweitert werden.

1. Schritt: Rangfolge der Monatsabfluesse Mai bis September

Die einzelnen Monate lassen sich in bezug auf den Monatsabfluss in Stichworten wie folgt beschreiben (vgl. u.a. GAUDET 1975:228):

November bis Maerz: Wintermonate mit minimalem Abfluss; die nivale und glaziale Retention ueberwiegt die pluviale Komponente des Abflusses weitgehend; zwischen den Abflusskoeffizienten bestehen nur geringe Unterschiede.

April: Im Angelpunkt zwischen der Periode minimaler Abfluesse und der Hauptabflussperiode. Die hoeheren, staerker vergletscherten Einzugsgebiete weisen Abflusskoeffizienten (AK) um 0.4 auf, waehrend in den tiefsten Lagen der alpinen Zone die Monatsabfluesse ungefaehr den mittleren Jahresabfluessen entsprechen (AK = 1).

Mai: Beginn der Schneeschmelze in den tieferen Lagen ==> erster, nivaler Monat der Hauptabflussperiode.

Juni bis September: Hauptschmelzperiode: bis zu 90% der Jahresabflussmenge (inkl. Mai). Mit Ausnahme der Koeffizienten des Monats September in den tieferen Lagen sind die Abflusskoeffizienten durchwegs > (>>) 1.

Juni: Weitgehend von der Schneeschmelze gesteuerte Abfluesse;

Juli, August: Monate mit glazialen Abfluessen;

September: Trotz abnehmenden Lufttemperaturen vermag die Eisschmelze den Abfluss in staerker vergletscherten Gebieten noch zu beeinflussen. In den tieferen Lagen ueben die Niederschlaege einen, in der Regimekurve allerdings nicht direkt erkennbaren Einfluss aus (vgl. Tab. 17).

Oktober: Wenige bis fehlende Schmelzprozesse; eine pluviale Komponente, wie sie beispielsweise bei den pseudoeingipfligen Regimes auftritt (s. Figur 7), ist nicht direkt erkennbar. Die Abflusskoeffizienten liegen zwischen 0.5 und 0.8. Indirekt laesst sich der pluviale Einfluss in den Variationen der herbstlichen Abflusskoeffizienten erkennen (s. Tab. 22). Er ist aber im Vergleich zu den hochgelegenen, suedalpinen Einzugsgebieten klein (s. Teil III, Kap. S 2 und S 3). Die alpine Zone ist im Oktober wieder wenig differenziert.

Diese Aufstellung verdeutlicht einmal mehr die Bedeutung der sommerlichen Monatsabfluesse und macht eine Typisierung auf der Basis dieser Monate plausibel.

Im ersten Typisierungsschritt werden die Abflusskoeffizienten der Monate Mai bis September nach ihrer Grösse geordnet. Es entstehen charakteristische Rangfolgen, welche die vier alpinen Regimetypen ergeben. Die begriffliche Ansprache dieser Regimetypen erfolgt aufgrund der Raenge der nivalen und glazialen Monate:

GLAZIAL: Juli - August - Juni - September

GLAZIONIVAL: Juli - Juni - August - Mai oder
Juni - Juli - August - Mai

NIVOGLAZIAL: Juni - Juli - Mai - August

NIVAL: Juni - Mai - Juli - August oder
Mai - Juni - Juli - August

Saemtliche alpinen Regimes koennen mit diesen vier Regimetypen erfasst werden. Fluesse mit der gleichen monatlichen Rangfolge lassen eine grosse Aehnlichkeit ihrer Regimekurven erkennen und weisen damit eine enge Verwandtschaft im hydrologischen Gesamtverhalten auf (s. Teil II, Kap. M 1.2.2.).

Es gelingt also mit dem einfachen Ansatz ueber die monatliche Rangfolge, das saisonale Abflussverhalten alpiner autochthoner Einzugsgebiete typisierend zu erfassen.

2. Schritt: Feststellung von Abhaengigkeiten

Es mag auf Anhieb erstaunen, dass die sommerlichen Monatsabfluesse - abgesehen von wenigen Ausnahmen - nicht von einander abhaengen, dass sie also im statistischen Sinn unkorreliert sind; insbesondere sind zeitlich aufeinanderfolgende Monatsabfluesse nicht autokorreliert.

Die Korrelationen wurden zwischen allen Monaten vom Mai bis September auf der Basis der Einzeljahre berechnet. Die Pruefung der Abhaengigkeiten erfolgte mittels dem sog. T-Test, welcher die Korrelationskoeffizienten auf Signifikanz prueft (zur Berechnung der Testgroesse T vgl. STATPLOT:87).

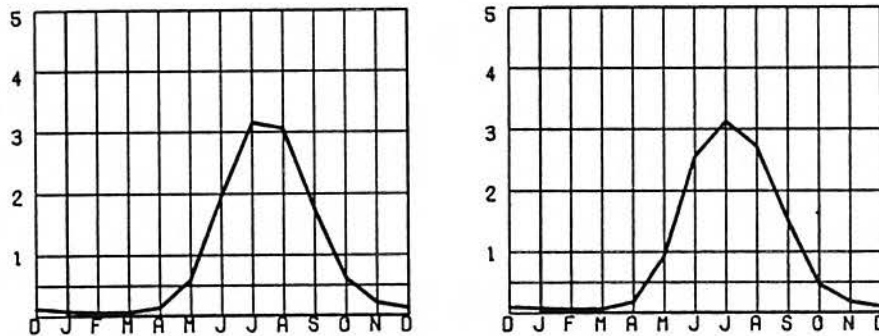
Die Ergebnisse im Einzelnen:

1. Nur in rund 10% der Faelle stellen wir signifikante Korrelationen fest.
2. Die signifikanten Korrelationen sind sehr klein, meistens < 0.5 . Nur bei zwei Einzugsgebieten lassen sich Korrelationen > 0.75 beobachten.
3. Gewisse Abhaengigkeiten scheinen zwischen den Monaten Juli und September sowie zwischen Juni und September zu bestehen. Beide Monatspaare sind in rund einem Drittel der Faelle geringfuegig negativ korreliert.
4. In stark vergletscherten Gebieten laessen sich bei einigen Stationen Korrelationen zwischen Juni und August feststellen (r ungefaehr 0.6).

Die Sommermonate Mai bis September der alpinen Regimes duerfen demnach generell als unabhaengig betrachtet werden.

3. Schritt: Signifikanztest - Festlegung von Untertypen

Innerhalb der Regimetypen sind gewisse Unterschiede feststellbar. Bei den glazialen Regimes beispielsweise lassen sich zwei Gruppen unterscheiden. Bei einer ersten Gruppe von Flüssen ist die Differenz der Monatsabflüsse von Juli und August sehr klein; die Regimekurve ist im Bereich des Maximums verflacht. Bei einer zweiten Gruppe hingegen ist diese Differenz gross; die Regimekurve ist entsprechend ausgeprägt (Figur 13).



Figur 13. Charakteristische Unterschiede bei den glazialen Regimes

Es gilt in diesem dritten Schritt Kriterien zu finden, um solche charakteristische Unterschiede innerhalb eines beliebigen alpinen Regimetyps aufzudecken.

Mit einer "Einfachen Varianzanalyse" wird untersucht, ob die mittleren Abflusskoeffizienten zweier Monate signifikant voneinander verschieden sind (vgl. STATPLOT:84). Dabei wird eine t-verteilte Testgrösse TS berechnet:

$$\text{Testgrösse TS} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}} ; \quad \text{FG} = \frac{\left(\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}\right)^2}{\frac{(s_1^2/N_1)^2}{N_1-1} + \frac{(s_2^2/N_2)^2}{N_2-1}} - 2$$

Das Signifikanzniveau betraegt 5%.

Dieser paarweise Vergleich wird zwischen allen Sommermonaten durchgefuehrt. Die Signifikanzen bzw. Nicht-Signifikanzen monatlicher Abflusskoeffizienten-Paare stellt ein gutes Kriterium dar, um die Regimetypen (allenfalls) in Untertypen zu gliedern. Signifikanz zweier Monate heisst also: Die monatlichen Abflusskoeffizienten unterscheiden sich im statistischen Sinne; die Differenz Delta der beiden Abflusskoeffizienten kann ausgewiesen werden. Nicht-Signifikanz hingegen bedeutet: Die in der Rangfolge aufgedeckte monatliche Abfolge ist im statistischen Sinne nicht signifikant; ein Deltawert darf hier nicht berechnet werden.

Um auf obiges Beispiel zurueckzukommen: Der glaziale Regimetyp laesst aufgrund der Signifikanzen zwei Untertypen erkennen: ein erster Untertyp mit Juli nicht signifikant verschieden vom August (Juli - August) und ein zweiter mit Juli signifikant groesser als der August (Juli > August).

Es bleibt zu erwaehnen, dass die zwei wichtigsten Voraussetzungen zur Durchfuehrung dieser "Einfachen Varianzanalyse" erfuehrt sind, naemlich Unabhaengigkeit der Daten (vgl. 2. Schritt) und Normalverteilung. Durch die geforderten Genauigkeiten werden ferner gleichwertige Daten miteinander verglichen.

Mit diesem dritten Schritt gelingt es, die Typisierung zu verfeinern; d.h. konkret, den glazialen und glazionivalen Typ in Untertypen zu gliedern.

A 4. DIE ALPINEN REGIMETYPEN

A 4.1. GRUNDSÄTZLICHES

Im vorangehenden Kapitel wurde das schrittweise Vorgehen, welches zu den alpinen Regimetypen führte, beschrieben. Aufgrund der festgestellten Signifikanzen lassen sich diese Typen weiter gliedern. Bei signifikanten Unterschieden zwischen den Monatsabflüssen – insbesondere bei jenen, welche in der Rangfolge hintereinander stehen – kann die Differenz Delta ausgewiesen werden. Sie berechnet sich nach:

$$\text{DELTA} = \frac{Ak_1 - Ak_2 \times 100}{Ak_1} [\%]$$

wobei:

Ak_1 : grösserer Abflusskoeffizient

Ak_2 : kleinerer Abflusskoeffizient

Es ist leicht zu zeigen, dass das Delta zwischen den monatlichen Abflusskoeffizienten und das Delta zwischen den absoluten Monatsabflüssen gleich sind.

Die hier anschliessende Beschreibung der Regimetypen basiert auf den repräsentativen Einzugsgebieten. Wenn wir im folgenden beispielsweise von "Juni" sprechen, so meinen wir jeweils den mittleren Abflusskoeffizienten des Monats Juni. Das Zeichen '>' bedeutet: "signifikant grösser", das Zeichen '-' bedeutet: "nicht signifikant verschieden".

A 4.2. GLAZIALE REGIMES

Rangfolge: JULI -> AUGUST -> JUNI -> SEPTEMBER

Das glaziale Regime ist durch die Dominanz der Monate Juli und August gekennzeichnet. Bemerkenswert ist auch die Bedeutung des Monats September, welcher nur gerade beim glazialen Regime einen festen Platz in der Rangfolge einnimmt. Die nivale Komponente (Juni) beeinflusst den Abflussgang nur in beschränkter Masse. Die glazialen Regimes können aufgrund der Signifikanzen in einen a-glazialen und einen b-glazialen Untertyp unterteilt werden.

A 4.2.1. Die a-glazialen Regimes

Bei den a-glazialen Regimes ist die Mittelwertsdifferenz zwischen Juli und August nicht signifikant: Die glazialen Abflüsse verteilen sich recht ausgeglichen auf beide Monate. Das Abflussmaximum fällt aber in den Einzeljahren mehrheitlich auf den Juli (vgl. Kap. A 4.6.1.).

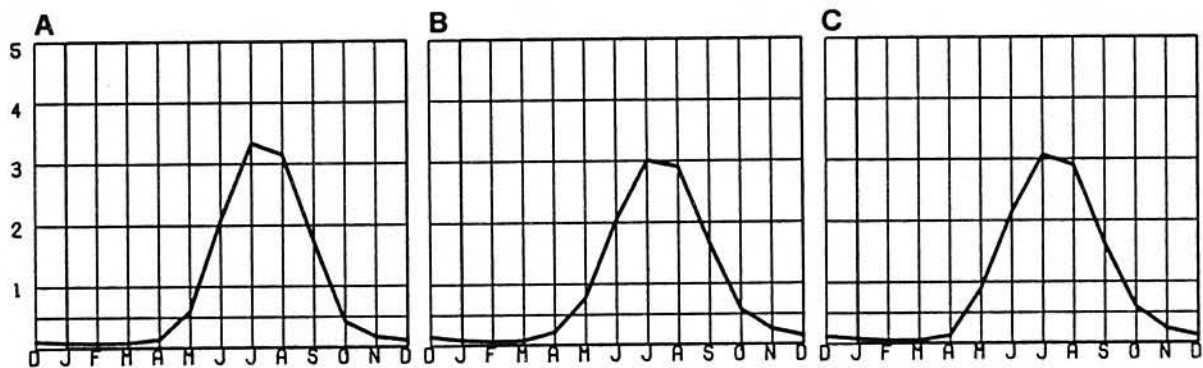
| | |
|--------------------------------------|-------|
| Rangfolge: JULI - AUGT > JUNI - SEPT | |
| DELTA (%) | 15-40 |

Weitere DELTAWERTE: Juli > Juni: 25-40%
 Juli > Sept: 40-50%
 Augt > Sept: 40-45%

GAUDET (1975:229) erwaeht in ihrer Untersuchung noch ein ultraglaziales Regime mit der Rangfolge AUG-JULI-SEP-JUNI. Es handelt sich dabei um Abfluesse aus sehr kleinen, stark vergletscherten und ueber 3000 m ue. Meer gelegenen Einzugsgebieten des Monte Rosa- und Mont Blanc-Massivs. In unserer Stichprobe ist diese Rangfolge nicht aufgetreten.

Figur 14 zeigt einige Vertreter a-glazialer Regimes. Die entsprechenden Flussgebiete weisen durchwegs eine grosse mittlere Hoehe und einen hohen Gletscheranteil auf.

Die Abflusskoeffizienten und ihre Variationen sind in Tabelle 7 zusammengestellt.



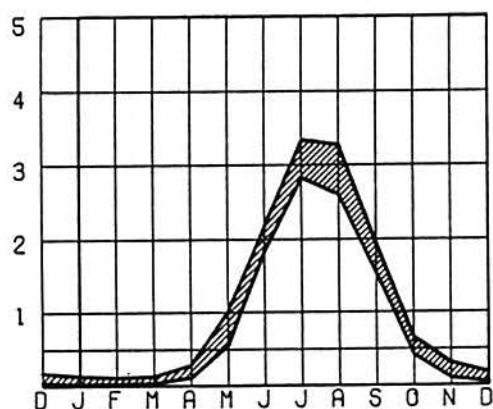
Figur 14. A-glaziale Abflussregimes

| | FLUSS: | STATION: | PERIODE: | MITTL. VERGLET- HOEHE: | SCHERUNG: |
|---|--------------|------------|-----------|---------------------------|-----------|
| A | Matter Vispa | Zermatt | 1950-1960 | 3000 m | 57.1% |
| B | Kander | Gasterntal | 1950-1980 | 2600 m | 43.5% |
| C | Rosegbach | Pontresina | 1960-1980 | 2716 m | 32.8% |

Die a-glazialen Abflussregimes zeichnen sich durch geringe Winterabfluesse und durch sehr hohe Abfluesse waehrend der Monate Juli und August aus. Im Mittel fliessen in diesen beiden Monaten bis zu 60 % der Jahresabflussmenge ab, vom Mai bis September sogar gegen 90 %. Die Minimalabfluesse erstrecken sich vom Dezember bis zum Maerz und unterscheiden sich kaum. Von Januar bis Maerz kann der mittlere Monatsabfluss als konstant betrachtet werden. Er betraegt meist weniger als 10 % der mittleren Jahreswasserfuehrung.

Tabelle 7. Abflusskoeffizienten der a-glazialen Regimes

| Monat | MIN | MAX | Mittel | Median |
|-------|------|------|--------|--------|
| JAN | 0.03 | 0.14 | 0.09 | 0.09 |
| FEB | 0.03 | 0.12 | 0.08 | 0.08 |
| MRZ | 0.04 | 0.14 | 0.09 | 0.09 |
| APR | 0.12 | 0.29 | 0.18 | 0.15 |
| MAI | 0.55 | 1.01 | 0.72 | 0.66 |
| JUN | 1.85 | 2.18 | 2.02 | 2.03 |
| JUL | 2.83 | 3.34 | 3.13 | 3.14 |
| AUG | 2.60 | 3.27 | 3.01 | 3.02 |
| SEP | 1.53 | 1.95 | 1.72 | 1.71 |
| OKT | 0.42 | 0.66 | 0.56 | 0.59 |
| NOV | 0.11 | 0.31 | 0.22 | 0.23 |
| DEZ | 0.05 | 0.18 | 0.13 | 0.13 |



A 4.2.2. Die b-glazialen Regimes

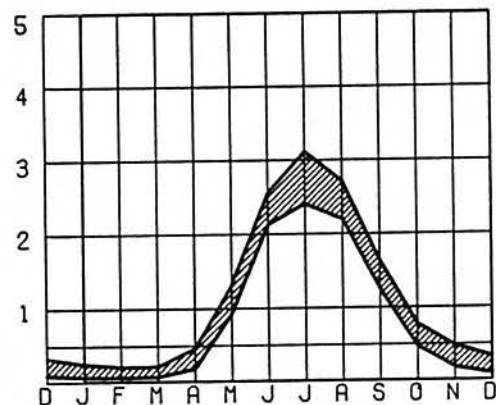
Rangfolge: JULI > AUGT > JUNI > SEPT
 DELTA (%) 10-15 5-15 30-45

Weitere DELTAWERTE: Juli > Juni: 20-25%
 Juli > Sept: 40-55%
 Augt > Sept: 35-50%

Die Einzugsgebiete b-glazialer Regimes liegen etwas tiefer und weisen auch kleinere Vergletscherungswerte auf als die entsprechenden Gebiete des a-glazialen Regimes. Die Abflusskoeffizienten und ihre Streubereiche sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

Tabelle 8. Abflusskoeffizienten der b-glazialen Regimes

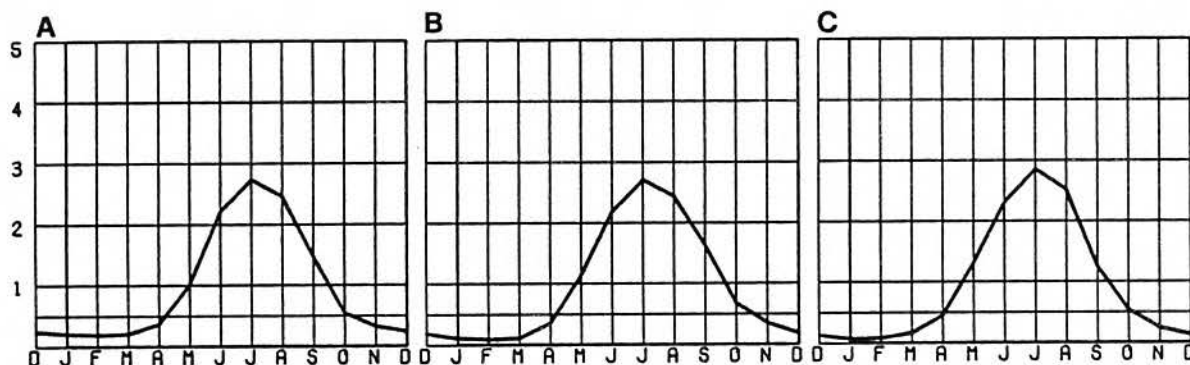
| Monat | MIN | MAX | Mittel | Median |
|-------|------|------|--------|--------|
| JAN | 0.07 | 0.25 | 0.14 | 0.12 |
| FEB | 0.06 | 0.21 | 0.12 | 0.11 |
| MRZ | 0.07 | 0.22 | 0.15 | 0.15 |
| APR | 0.18 | 0.46 | 0.35 | 0.37 |
| MAI | 0.93 | 1.31 | 1.06 | 1.01 |
| JUN | 2.13 | 2.56 | 2.28 | 2.27 |
| JUL | 2.4 | 3.12 | 2.83 | 2.85 |
| AUG | 2.20 | 2.72 | 2.52 | 2.52 |
| SEP | 1.25 | 1.64 | 1.46 | 1.48 |
| OKT | 0.47 | 0.78 | 0.57 | 0.54 |
| NOV | 0.18 | 0.48 | 0.31 | 0.31 |
| DEZ | 0.10 | 0.33 | 0.19 | 0.18 |



Obwohl die monatliche Rangfolge noch dieselbe ist wie bei den a-glazialen Regimes, sind aufgrund der Signifikanzen entscheidende Unterschiede festzustellen: Die Schneeschmelze setzt frueher ein; Juni und Mai werden staerker betont und gleichzeitig die Abflussspitzen im Juli und besonders im August gedaempft.

In den Monaten der Schnee- und Eisschmelze Mai bis September fließen rund 85 % der Jahresabflussmenge ab.

Die Minimalabflüsse verhalten sich wie beim a-glazialen Regime und sind nur wenig höher (rund 15 % des mittleren Jahresabflusses). Beispiele zu diesem Regimetyp finden sich in Figur 15.



Figur 15. B-glaziale Abflussregimes

| | FLUSS: | STATION: | PERIODE: | MITTL. VERGLET- HOEHE: | SCHERUNG: |
|---|---------|------------|-----------|---------------------------|-----------|
| A | Borgne | La Lurette | 1926-1962 | 2620 m | 25.0% |
| B | Linth | Tierfehd | 1918-1961 | 2330 m | 23.9% |
| C | Alpbach | Erstfeld | 1961-1980 | 2200 m | 25.6% |

A 4.3. DIE GLAZIONIVALEN REGIMES

Rangfolge: JULI -> JUNI -> AUGUST -> MAI oder
JUNI -> JULI -> AUGUST -> MAI

Glazionivale Regimes müssen als eigentliche Übergangsregimes bezeichnet werden, bei denen sich Juli und Juni als Monate maximaler mittlerer Monatsabflüsse abwechseln. Charakteristisch ist das Vorrücken der nivalen Monate Juni (Rangtausch mit dem glazialen Monat August) und Mai (Verdrängung des Monats September, wobei die Mittelwertsdifferenzen zum September nicht signifikant sind und bei einigen Flüssen auch die Varietät September - Mai beobachtet wird).

Aufgrund der Signifikanzen sind mehrere Spezifikationen festzustellen:

- a) Juli > Juni - August > Mai - September
- b) Juli > Juni > August > Mai - September
- c) Juli - Juni > August > Mai - September
- d) Juni - Juli > August > Mai - September
- e) Juni > Juli > August > Mai - September

Die Verstärkung der nivalen Komponente von der Spezifikation a) zur Spezifikation d) kommt deutlich zum Ausdruck. Räumlich lassen sich nicht alle Spe-

zifikationen trennen. Zufriedenstellende Ergebnisse liefert folgende Gliederung:

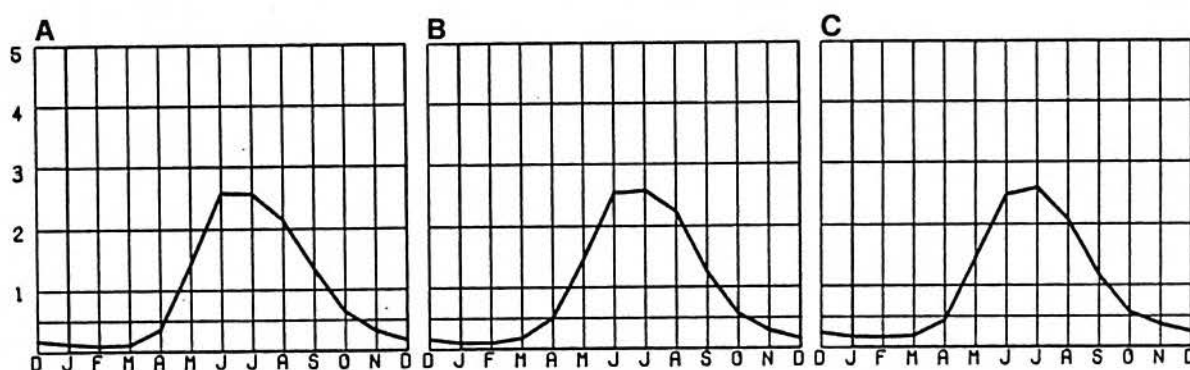
A 4.3.1. Die a-glazionalen Regimes

Bei den a-glazionalen Abflüssen liegt das Abflussmaximum im langjaehrigen Mittel mehrheitlich im Juli.

| | |
|------------------------------|---|
| Rang- folgen DELTA (%) | 1. JULI > JUNI - AUGT > MAI 10-15 0-35 30-50 |
| DELTA (%) | 2. JULI - JUNI > AUGT > MAI 15-35 |
| | 3. JUNI - JULI > AUGT > MAI |
| ausge- schlossen | JUNI > JULI > AUGT > MAI |

Tabelle 9. Weitere Deltawerte a-glazionaler Regimes

| Monate | Spezifikation | | a-glaz.- nival |
|-----------|---------------|--------|-------------------|
| | 1 | 2,3 | |
| Juni-Mai | 35-60% | 40-50% | 35-60% |
| Juni-Sept | 35-50% | 40-60% | 35-60% |
| Juli-Mai | 40-65% | 40-50% | 40-65% |
| Juli-Augt | 15-25% | 15-30% | 15-30% |
| Juli-Sept | 45-55% | 40-60% | 40-60% |
| Augt-Sept | 35-40% | 20-45% | 20-45% |



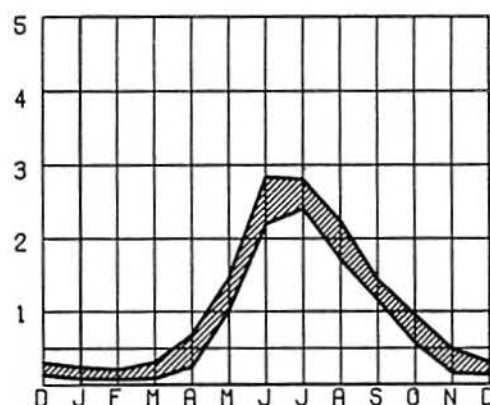
Figur 16. A-glazionaler Abflussregimes

| FLUSS: | STATION: | PERIODE: | MITTL. VERGLET- HOEHE: | SCHERUNG: |
|------------------|-------------|-----------|---------------------------|-----------|
| A Hinterrhein | Hinterrhein | 1945-1980 | 2360 m | 17.3% |
| B Gornernbach | Kiental | 1950-1980 | 2270 m | 17.3% |
| C Engelberger Aa | Engelberg | 1955-1980 | 1970 m | 11.4% |

Die Mittelwerte der in der Rangfolge benachbarten Monate Juli und Juni unterscheiden sich oft nicht signifikant oder bei Signifikanz sind die Deltawerte $< 15\%$. Die in der Rangfolge benachbarten Monate August und Mai sind stets signifikant verschieden; die prozentualen Differenzen haengen aber stark von der jeweiligen Spezifikation ab. Wie die Tabelle 9 zeigt, liegen die restlichen Deltawerte der Spezifikationen 1. und 2./3. in derselben Groessenordnung.

Tabelle 10. Abflusskoeffizienten der a-glazionalen Regimes

| Monat | MIN | MAX | Mittel | Median |
|-------|------|------|--------|--------|
| JAN | 0.09 | 0.24 | 0.16 | 0.17 |
| FEB | 0.08 | 0.21 | 0.15 | 0.17 |
| MRZ | 0.09 | 0.31 | 0.18 | 0.19 |
| APR | 0.25 | 0.69 | 0.41 | 0.38 |
| MAI | 1.02 | 1.46 | 1.33 | 1.39 |
| JUN | 2.20 | 2.84 | 2.53 | 2.54 |
| JUL | 2.40 | 2.80 | 2.59 | 2.59 |
| AUG | 1.71 | 2.24 | 2.06 | 2.08 |
| SEP | 1.15 | 1.44 | 1.27 | 1.25 |
| OKT | 0.57 | 0.95 | 0.68 | 0.64 |
| NOV | 0.16 | 0.49 | 0.36 | 0.37 |
| DEZ | 0.14 | 0.30 | 0.22 | 0.23 |



Die Einzugsgebiete weisen noch mittlere Hohen von ueber 2000 m ue. Meer auf, aber die Vergletscherungswerte sinken unter etwa 20%. Die Figur 16 vermittelt Beispiele a-glazionaler Fluesse.

Wie aus der Regimebezeichnung hervorgeht, sind zwei Hauptsteuerfaktoren fuer den Abflussgang von Bedeutung: die Gletscherschmelze und die Schneeschmelze. Dadurch fliesst im Juni und Juli praktisch gleichviel Wasser ab. Die abflussreichsten Monate Mai bis September machen im Mittel 81.5 % der Jahresmenge aus. Von der Intensitaet der Maximalabfluesse her entspricht das a-glazionivale Regime dem b-glazialen, auch wenn ein Abflusskoeffizient von 2.80 nur noch ausnahmsweise erreicht wird (Tab. 10). Der Monat August wird deutlich schwaecher (2.50 \rightarrow 2.10), Mai und Juni werden abflussreicher. Die Minimalabfluesse sind mit jenen b-glazialer Regimes vergleichbar.

A 4.3.2. Die b-glazionalen Regimes

Bei den b-glazionalen Fluessen steht der Monat Juni stets an erster Stelle.

| | |
|------------------------------|--|
| Rang- folgen DELTA (%) | 1. JUNI - JULI > AUGT > MAI 15-30 15-35 |
| DELTA (%) | 2. JUNI > JULI > AUGT > MAI 10-20 15-35 10-25 |
| ausge- schlossen | JULI > JUNI - AUGT > MAI JULI - JUNI > AUGT > MAI |

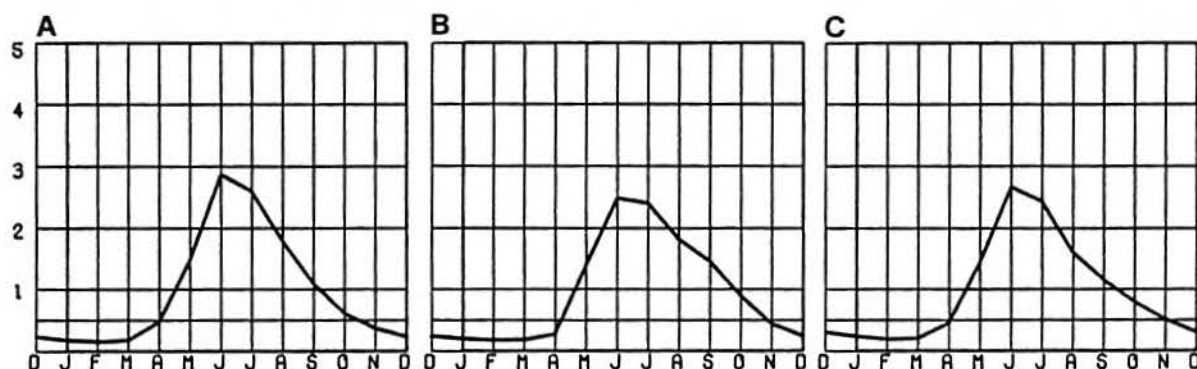
Die Tabelle 11 zeigt die relativ gute Uebereinstimmung der beiden glazionalen Untertypen in bezug auf die Deltawerte der in der Rangfolge nicht benachbarten Monate. Das wichtigste Unterscheidungsmerkmal ist also der Monat des Maximums. Die Spezifikation Juni - Juli > August > Mai kann in beiden Untertypen auftreten. Einige Beispiele zu b-glazionalen Regimetypen sind in Figur 17 dargestellt.

Tabelle 11. Weitere Deltawerte b-glazionaler Regimes im Vergleich mit a-glazionalen Regimes

| Monate | Bb | Ba |
|-----------|--------|--------|
| Juni-Mai | 40-60% | 35-60% |
| Juni-Augt | 10-45% | 0-35% |
| Juni-Sept | 40-60% | 35-60% |
| Juli-Mai | 35-50% | 40-65% |
| Juli-Sept | 40-60% | 40-60% |
| Augt-Sept | 20-45% | 20-45% |

Ba: a-glazional

Bb: b-glazional



Figur 17. B-glazionaler Abflussregimes

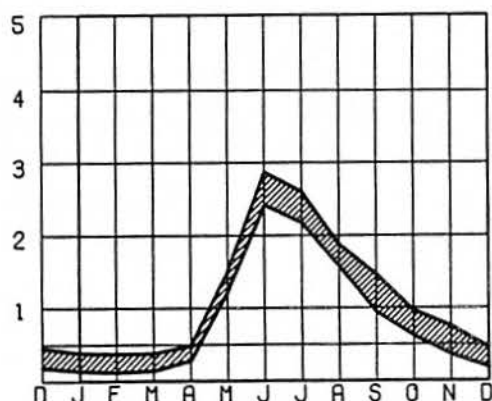
| FLUSS: | STATION: | PERIODE: | MITTL. VERGLET- HOEHE: | SCHERUNG: |
|-------------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|
| A Landquart | Klosters | 1934-1974 | 2300 m | 8.1% |
| B Binna | Binn | 1918-1927 | 2326 m | 11.6% |
| C Reuss | Andermatt | 1919-1945 | 2280 m | 10.5% |

Die Einzugsgebiete liegen auf ueber 2000 m mittlerer Hoehe, aber der Gletscheranteil sinkt meist unter ca. 10 %. Bei diesen kleinen Gletscheranteilen wird der Juniabfluss wichtiger, wenn auch Juli und August noch wenig an Bedeutung verlieren. In den Monaten Mai bis September fliessen im Mittel 79 % der Jahresmenge ab. Im Gegensatz zu den glazialen Regimes (85-90 % Abfluss im gleichen Zeitraum) verteilt sich der Abfluss wegen des frueheren Beginns der Schneeschmelze etwas gleichmaessiger auf das Sommerhalbjahr. Die Variationsbreiten der Abflusskoeffizienten sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Die Abflusskoeffizienten der b-glazionalen Regimes entsprechen bis auf die Monate Juni und Juli weitgehend denjenigen a-glazionaler Regimes. Die winterlichen Abfluesse nehmen nur leicht zu; sie bleiben aber waehrend der Monate Januar bis Maerz weitgehend konstant.

Tabelle 12. Abflusskoeffizienten der b-glazionalen Regimes

| Monat | MIN | MAX | Mittel | Median |
|-------|------|------|--------|--------|
| JAN | 0.14 | 0.38 | 0.22 | 0.22 |
| FEB | 0.12 | 0.37 | 0.19 | 0.18 |
| MRZ | 0.14 | 0.38 | 0.20 | 0.18 |
| APR | 0.28 | 0.48 | 0.40 | 0.42 |
| MAI | 1.22 | 1.50 | 1.41 | 1.42 |
| JUN | 2.42 | 2.87 | 2.67 | 2.67 |
| JUL | 2.17 | 2.60 | 2.36 | 2.37 |
| AUG | 1.57 | 1.88 | 1.73 | 1.76 |
| SEP | 0.94 | 1.46 | 1.19 | 1.21 |
| OKT | 0.61 | 0.96 | 0.80 | 0.79 |
| NOV | 0.36 | 0.74 | 0.51 | 0.49 |
| DEZ | 0.19 | 0.45 | 0.30 | 0.30 |



A 4.4. DIE NIVOGLAZIALEN REGIMES

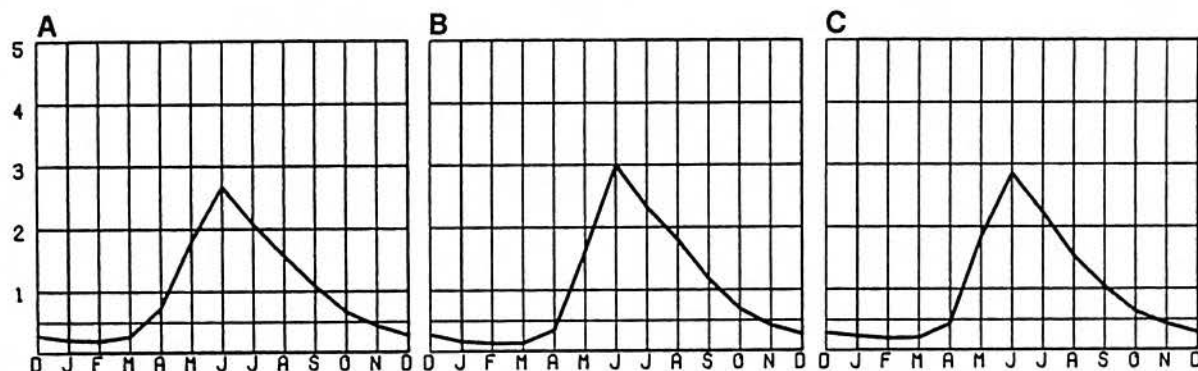
Rangfolge: JUNI > JULI > MAI - AUGT
 DELTA (%) 5-25 10-50

Weitere DELTAWERTE: Juni > Mai : 25-55%
 Juni > Augt: 25-50%
 Juli > Augt: 20-35%

Die führende Rolle des nivalen Monats Juni ist nun unbestritten. Die Zunahme der Nivalität äussert sich ferner im Rangtausch zwischen Mai und August. Gesamthaft gesehen sind Mai und August nicht signifikant verschieden; bei einigen Flüssen wurde allerdings auch August - Mai beobachtet (vgl. Figur 18, B). Die glaziale Komponente (Juli, August) ist in der Rangfolge nach wie vor von Bedeutung. Es bestehen keine Kriterien, den nivoglazialen Haupttyp weiter zu gliedern. Einige Vertreter des nivoglazialen Regimetyps sind in Figur 18 dargestellt.

Die mittlere Einzugsgebietshöhe variiert von 1700-2500 m ue. Meer; die Vergletscherung macht nur noch wenige Prozente der Einzugsgebietsfläche aus.

Die Abflusskoeffizienten und ihre Streuung finden sich in Tabelle 13. Sie sind im Ausmass jenen der b-glazionalen Regimes vergleichbar. April und Mai sind eher etwas abflussreicher, Juli und August abflussärmer. Die Minimalabflüsse machen 20-30 % des mittleren Jahresabflusses aus und schwanken von Januar bis März nur wenig. Während der abflussreichsten Monate fließen im Mittel rund 76 % der Jahresmenge ab.

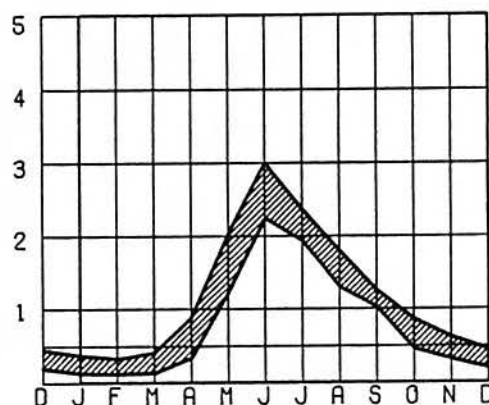


Figur 18. Nivoglaziale Abflussregimes

| FLUSS: | STATION: | PERIODE: | MITTL. VERGLET- HOEHE: | SCHERUNG: |
|------------------|---------------|-----------|---------------------------|-----------|
| A Vorderrhein | Disentis | 1943-1961 | 2150 m | 4.9% |
| B Engstligenbach | Engstligenalp | 1950-1965 | 2300 m | 8.4% |
| C Ova da Cluozza | Zernez | 1962-1980 | 2368 m | 1.7% |

Tabelle 13. Abflusskoeffizienten der nivoglazialen Regimes

| Monat | MIN | MAX | Mittel | Median |
|-------|------|------|--------|--------|
| JAN | 0.13 | 0.37 | 0.24 | 0.25 |
| FEB | 0.12 | 0.33 | 0.22 | 0.22 |
| MRZ | 0.13 | 0.41 | 0.28 | 0.27 |
| APR | 0.34 | 0.88 | 0.61 | 0.64 |
| MAI | 1.23 | 2.03 | 1.67 | 1.70 |
| JUN | 2.25 | 3.00 | 2.64 | 2.70 |
| JUL | 1.93 | 2.37 | 2.13 | 2.11 |
| AUG | 1.30 | 1.80 | 1.56 | 1.57 |
| SEP | 1.02 | 1.26 | 1.09 | 1.11 |
| OKT | 0.46 | 0.86 | 0.71 | 0.71 |
| NOV | 0.32 | 0.62 | 0.49 | 0.52 |
| DEZ | 0.20 | 0.45 | 0.32 | 0.32 |



A 4.5. DIE NIVALEN REGIMES

Rang-
folgen

1. JUNI > MAI > JULI > AUGT

2. JUNI - MAI > JULI > AUGT

3. MAI - JUNI > JULI > AUGT

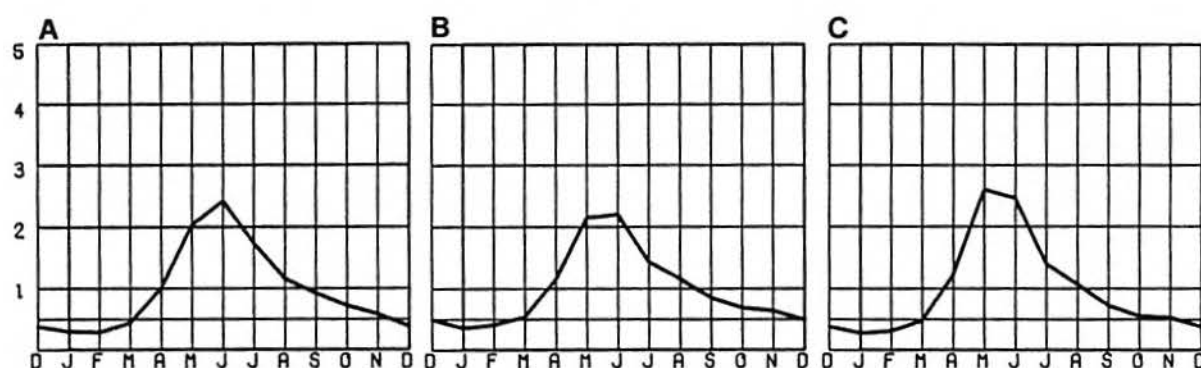
Mit den nivalen Regimes, zu denen in Figur 19 Beispiele vorliegen, wird die kritische Grenze von 1550 m erreicht; sie schliessen die Folge der eingipfligen Regimes ab. Dieser Regimetyp ist in wenig vergletscherten (< 3 %) oder unver-

Tabelle 14. Die nivalen Deltawerte

| | | | |
|------------------------|--|---------------|---------------|
| TYPESPEZIFISCHE WERTE: | | JUNI - MAI | : -5 - 20% * |
| | | MAI - JULI | : 5 - 45% ** |
| | | MAI - AUGUST | : 25 - 60% ** |
| | | JUNI - JULI | : 20 - 45% ** |
| WEITERE DELTAWERTE: | | JUNI - AUGUST | : 50 - 70% |
| | | MAI - AUGUST | : 55 - 70% |

(* : Mai-Juni z.T. nicht signifikant)

(**: die maximalen Werte stammen von der Spezifikation 3.)

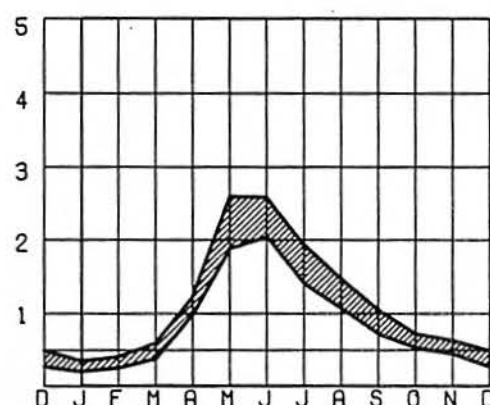


Figur 19. Nivale Abflussregimes

| FLUSS: | STATION: | PERIODE: | MITTL. VERGLET- HOEHE: | SCHERUNG: |
|-------------|-----------|-----------|---------------------------|-----------|
| A Plessur | Chur | 1931-1980 | 1850 m | 0% |
| B Filderich | Riedli | 1954-1981 | 1695 m | 0% |
| C Allenbach | Adelboden | 1950-1980 | 1856 m | 0% |

Tabelle 15. Abflusskoeffizienten der nivalen Regimes

| Monat | MIN | MAX | Mittel | Median |
|-------|------|------|--------|--------|
| JAN | 0.20 | 0.35 | 0.28 | 0.27 |
| FEB | 0.25 | 0.41 | 0.33 | 0.34 |
| MRZ | 0.38 | 0.60 | 0.48 | 0.49 |
| APR | 0.99 | 1.23 | 1.09 | 1.10 |
| MAI | 1.88 | 2.60 | 2.11 | 2.03 |
| JUN | 2.04 | 2.59 | 2.32 | 2.30 |
| JUL | 1.40 | 1.94 | 1.67 | 1.74 |
| AUG | 1.07 | 1.47 | 1.25 | 1.28 |
| SEP | 0.72 | 1.05 | 0.89 | 0.91 |
| OKT | 0.53 | 0.72 | 0.63 | 0.65 |
| NOV | 0.45 | 0.63 | 0.54 | 0.53 |
| DEZ | 0.27 | 0.49 | 0.39 | 0.38 |



gletscherten Einzugsgebieten ab 1550 m mittlerer Einzugsgebietshöhe zu erwarten. Die Schneeschmelze beginnt in den tieferen Lagen im April; die Hauptphase liegt im Juni. In einigen wenigen Fällen finden wir das Maximum im Mai (vgl.

Figur 19). Von der Spezifikation 1) bis zur Spezifikation 3) ist eine weitere Zunahme der Nivalitaet feststellbar.

Die Abflusskoeffizienten sind in Tabelle 15 zusammengestellt. Die Maximalabfluesse der Monate Mai und Juni erreichen mit mittleren Koeffizienten von 2.1-2.3 nicht mehr die Intensitaet der Maximalabfluesse anderer alpiner Regimetypen. Durch den fruehen Beginn der Schneeschmelze wird der Monat April staerker betont: der Koeffizient von ca. 1.0-1.1 wird sonst von keinem andern Regimetyp erreicht. Zugleich werden die tiefsten Septemberwerte registriert (0.7-1.0). Waehrend der Monate Mai bis September fliesen im Mittel noch 70 % der Jahresmenge ab. Die Minimalabfluesse konzentrieren sich auf die Monate Januar und Februar; sie sind hoeher als bei den andern Regimes.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Zum Abschluss der Beschreibung der einzelnen Regimetypen sollen uebersichtsmassig einige Mittelwerte einander gegenuebergestellt werden. Auch wenn im Einzelfall immer die Streubereiche mitberuecksichtigt werden muessen, so helfen die Mittelwerte doch, das gewonnene Bild der alpinen Abflussregimes abzurunden (vgl. Tab. 16).

Tabelle 16. Vergleich der Regimes anhand einiger Mittelwerte

| Typ | Rangfolge | minD | maxD | DIFF | A% | MH | GLE |
|-----|-----------------|------|------|------|------|------|------|
| Aa | JUL-AUG-JUN-SEP | 0.10 | 3.15 | 3.05 | 88.5 | 2750 | 46.0 |
| Ab | JUL-AUG-JUN-SEP | 0.15 | 2.85 | 2.70 | 84.5 | 2450 | 30.0 |
| Ba | JUL-JUN-AUG-MAI | 0.15 | 2.60 | 2.45 | 81.5 | 2300 | 15.0 |
| Bb | JUN-JUL-AUG-MAI | 0.20 | 2.70 | 2.50 | 79.0 | 2300 | 8.0 |
| C | JUN-JUL-MAI-AUG | 0.25 | 2.65 | 2.40 | 76.0 | 2150 | 3.5 |
| D | JUN-MAI-JUL-AUG | 0.30 | 2.30 | 2.00 | 70.0 | 1700 | 0 |

| | | | |
|----|-------------|------|---|
| Aa | a-glazial | maxD | mittlerer maximaler Abflusskoeffizient |
| Ab | b-glazial | minD | mittlerer minimaler Abflusskoeffizient |
| Ba | a-glazional | DIFF | mittlere Differenz KMAX-KMIN |
| Bb | b-glazional | A% | mittlere Abflusssumme Mai bis September |
| C | nivoglazial | MH | mittlere Einzugsgebietshoehe |
| D | nival | GLE | Vergletscherung in % |

A 4.6. WEITERE ASPEKTE

A 4.6.1. Haeufigkeitsverteilung maximaler und minimaler Monatsabflusses

Bis anhin beschraenkten wir unsere Aussagen fast ausschliesslich auf die langjaehrigen Monatsmittel. In diesem Kapitel moechten wir einen ersten Bezug zu den Einzeljahren herstellen und zeigen, dass auch unter diesem Gesichtspunkt typspezifische Richtwerte bestehen.

Ziel: Beschreibung und Beurteilung der Regimetypen hinsichtlich der Haeufigkeiten des Auftretens des maximalen und des minimalen Monatsabflusses innerhalb der Einzeljahre.

Vorgehen: Auf der Datenbasis der repraesentativen Stationen:
a) Bezeichnung der Monate mit maximalem und minimalem Monatsabfluss innerhalb der Einzeljahre;

b) Bestimmung der monatlichen Haeufigkeiten.

Resultate: Die Resultate der Haeufigkeiten maximaler Monatsabflusse sind in Tab. 17, jene minimaler Monatsabflusse in Tab. 18 zusammengestellt.

Tabelle 17. Haeufigkeiten des Auftretens maximaler Monatsabflusses; aufgefuehrt sind die bei den repraesentativen Stationen beobachteten Variationsbreiten (%) und Medianwerte.

| | a-glazial | b-glazial | a-glaz.-nival | b-glaz.-nival | nivo-glazial | nival |
|-----|-----------|-----------|---------------|---------------|--------------|----------|
| Apr | | | | | | 0- 0- 3 |
| Mai | | | | | | 17-25-63 |
| Jun | 0- 0-12 | 11-15-20 | 20-43-55 | 56-59-67 | 60-70-77 | 34-61-82 |
| Jul | 53-60-71 | 51-62-65 | 40-49-70 | 25-34-41 | 12-18-34 | 0- 6-15 |
| Aug | 28-36-47 | 20-26-29 | 0- 5-14 | 0- 5-11 | 0- 0-10 | 0- 0- 5 |
| Sep | | 0- 0- 2 | 0- 0- 3 | 0- 0- 4 | 0- 0- 5 | 0- 0- 4 |
| Okt | | | 0- 0- 2 | | | 0- 0- 5 |
| Nov | | | | | | 0- 0- 2 |

Tabelle 18. Haeufigkeiten des Auftretens minimaler Monatsabflusses; aufgefuehrt sind die bei den repraesentativen Stationen beobachteten Variationsbreiten (%) und Medianwerte.

| | a-glazial | b-glazial | a-glaz.-nival | b-glaz.-nival | nivo-glazial | nival |
|-----|-----------|-----------|---------------|---------------|--------------|----------|
| Okt | | | | | | 0- 0- 2 |
| Nov | | | | | | 0- 4- 9 |
| Dez | 0- 4- 9 | 0- 9-15 | 0- 5-21 | 0- 4-18 | 0- 8-22 | 13-23-33 |
| Jan | 0- 6- 9 | 3-13-59 | 0-18-33 | 0- 6-18 | 0- 8-39 | 4-31-42 |
| Feb | 36-48-76 | 27-56-69 | 14-49-65 | 18-38-76 | 39-58-78 | 22-35-54 |
| Mrz | 18-44-61 | 0-16-44 | 2-20-83 | 12-50-71 | 0-16-43 | 0- 0- 3 |
| Apr | | | 0- 0- 5 | 0- 2-12 | | |

1) Die a-glazialen Regimes

Im langjaehrigen Mittel unterscheiden sich Juli und August nicht signifikant; die Abfolge Juli - August wird aber durch die Haeufigkeitsverteilung bestaetigt. Maximale Monatsabfluesse im Juni sind bei diesem Typ selten und solche im September wurden nicht beobachtet. Juni-Maxima koennen bei Stationen ungefaehr < 2700 m mittl. Hoehe auftreten.

Minimale Monatsabfluesse treten am haeufigsten im Februar oder Maerz auf. Dabei duerfte die grosse mittlere Einzugsgebietshoehe eine entscheidende Rolle spielen.

2) Die b-glazialen Regimes

Die Bedeutung des Juli als haeufigster Monat des Maximums ist nach wie vor unbestritten. Der Anteil des Monats Juni hat sich hingegen zuungunsten des Monats August erhoeht; es ist also bereits eine Zunahme der Nivalitaet gegenueber dem a-glazialen Typ zu verzeichnen. Auffallend sind die geringen Unterschiede der Stationen hinsichtlich der Haeufigkeiten: Der "glaziale Steuerfaktor" weist eine grosse zeitliche Konstanz auf.

Die Haeufigkeiten sind bei den minimalen Monatsabfluessen uneinheitlicher als bei den a-glazialen Regimes: Der Monat Februar weist im Mittel am haeufigsten minimale Abfluesse auf; bei einzelnen Stationen sind allerdings grosse Abweichungen von dieser allgemeinen Aussage zu beobachten, wie die grosse zeitliche

Variationsbreite in Tab. 18 beweist. Wir gelangen nun allmaehlich in jenen Hoehenbereich, wo lokale Faktoren wie Exposition, Speichereigenschaften der Gesteine und Lokalklima (z.B. Foehn) bedeutender werden fuer die Lage minimaler Monatsabfluesse als die mittlere Einzugsgebietshoehe.

3) Die glazionivalen Regimes

Die postulierte Unterteilung des glazionivalen Typs in einen a-glazionivalen und einen b-glazionivalen Untertyp findet sich in den monatlichen Haeufigkeiten bestaetigt: Bei beiden Untertypen entspricht die Rangfolge der monatlichen Haeufigkeiten der Rangfolge der monatlichen Abflusskoeffizienten.

Die Verstaerkung der nivalen Komponente im Vergleich zu den b-glazialen Regimes kommt bei den a-glazionivalen Regimes deutlich zum Ausdruck: Der Median des Monats Juni steigt von 15 % (b-glazial) auf 43 % (a-glazionival); hingegen sinkt der Median des Monats August von 26 % auf 5 %. Die restlichen Sommermonate der beiden Untertypen verhalten sich sehr aehnlich. Die Zahl der Monate, in denen maximale Monatsabfluesse in einem Einzeljahr auftreten koennen, hat sich gegenueber den glazialen Regimes vergroessert.

Die zeitliche Variationsbreite der Haeufigkeiten minimaler Abfluesse in den Wintermonaten ist bereits sehr gross. Es ist hier schon schwierig, allgemeinguelte Aussagen zu treffen. Allerdings faellt auf, dass die Minima mehrheitlich im Februar und Maerz liegen.

4) Die nivoglazialen Regimes

Aus der Sicht des Abflussregimes ist die Dominanz des Monats Juni charakteristisch. Dies wird bei den monatlichen Haeufigkeiten ebenfalls bestaetigt. Im Vergleich zu den glazionivalen Regimes werden die Juli-Realisierungen zugunsten der Mai-Realisierungen weiter abgebaut; das Regime wandelt sich auch bei den Haeufigkeiten vom glazio-nivalen zum nivo-glazialen Typ. In den Monaten August und September koennen maximale Abfluesse zwar vereinzelt beobachtet werden (starke Niederschlaege als Ursache ?); sie sind aber nicht sehr haeufig.

Realisierungen minimaler Monatsabfluesse treten im Februar mit 39% bis 78% am haeufigsten auf. Das Spektrum der Monate mit potentielltem Auftreten des Minimums reicht aber von November bis Maerz.

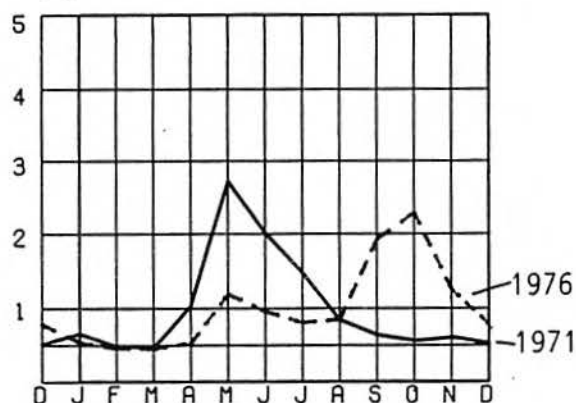
5) Die nivalen Regimes

Die Haeufigkeiten maximaler Monatsabfluesse im Mai haben bei den nivalen Regimes stark zugenommen. Sie sind nun wesentlich groesser als im Juli (vgl. Rangfolge der Abflusskoeffizienten: Juni - Mai > Juli > August). Mit dem allerdings bescheidenen Auftreten maximaler Monatsabfluesse im April wird der nivale Charakter dieses Typs weiter unterstrichen. Realisierungen maximaler Abfluesse koennen in den Einzeljahren vom April bis zum November beobachtet werden, wobei die Herbstmonate sehr kleine Haeufigkeiten aufweisen.

Im Oktober und November treten mit einer sehr geringen Haeufigkeit sogar minimale wie maximale Monatsabfluesse auf (vgl. die relativ grossen Variationen der Koeffizienten in diesen Monaten, Tab. 15).

Die Schneeschmelze ist hier natuerlich das hervorragende Steuerelement; faellt sie in einem Einzeljahr eher bescheiden aus, kann die pluviale Komponente das Regime sichtbar beeinflussen und beispielsweise einen praegenden Herbstpeak erzeugen (Figur 20). Das resultierende Regime des Einzeljahres ist in einem solchen Fall sogar mehrgipflig.

Bei den minimalen Abfluessen kann eine gewisse Verlagerung in den Fruehwinter beobachtet werden.



Figur 20. Ova dal Fuorn (Zernez) - Vergleich zweier Einzeljahre

Zusammenfassung

- Die einzelnen Regimetypen sind auch unter dem Aspekt der Häufigkeitsverteilung maximaler Monatsabflüsse deutlich unterscheidbar.
- Im Bereich minimaler Monatsabflüsse sind nur wenige typspezifische Charakteristiken festzustellen. Lokale Geofaktoren scheinen hier bereits steuernde Funktionen zu übernehmen.
- Mit abnehmender Vergletscherung nimmt die Zahl der Monate mit maximalem Monatsabfluss zu: Das glaziale Steuerelement ist zeitlich konstanter als das nivale.

A 4.6.2. Glazialität der Regimes

GAUDET(1975:230-231) weist auf eine Regime-Klassifikation hin, welche STCHGLOVA in Mittelasien erfolgreich angewendet hat. Dabei werden die Fluesse nach dem Glazialitäts-Koeffizienten g typisiert: Je glazialer ein Einzugsgebiet ist, um so mehr Wasser fliesst in den Monaten Juli bis September ab und um so grösser wird der g -Wert.

$$g = \frac{\text{JUL} + \text{AUG} + \text{SEP}}{\text{MRZ} + \text{APR} + \text{MAI} + \text{JUN}} \quad (1)$$

g : Glazialität
JUL usw.: Abflusskoeffizient des jeweiligen Monats

Nach STCHGLOVA (zit. in GAUDET 1975:230) weisen glaziale Einzugsgebiete g -Werte > 2 auf, nivoglaziale solche zwischen 1 und 2, während bei nivalen Einzugsgebieten g -Werte < 1 charakteristisch sind. Auf schweizerische Verhältnisse übertragen stimmen diese Wertebereiche nur bedingt; dies hat vor allem einen klimatischen und einen begrifflichen Grund:

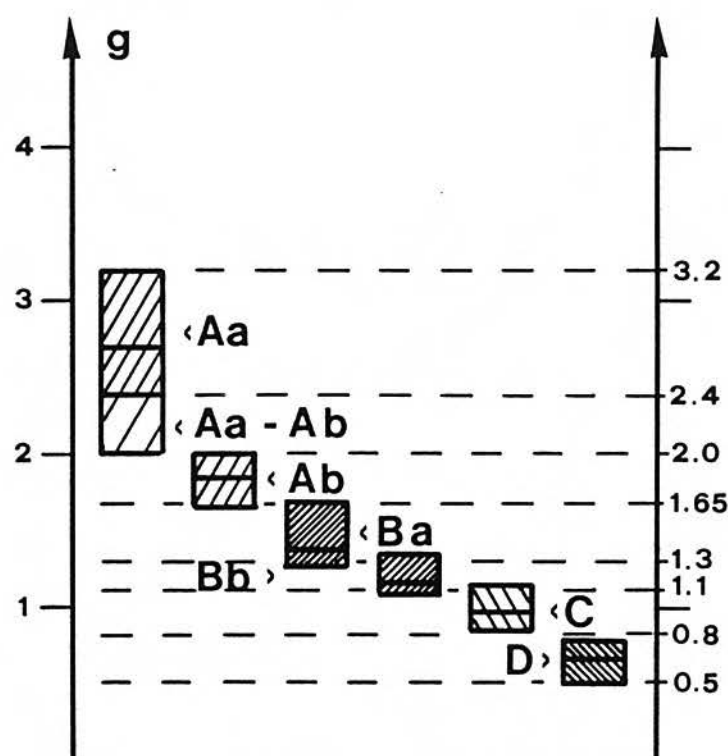
- klimatisch: Mittelasien besitzt ein viel kontinentaleres Klima;
- begrifflich: Die Begriffe glazial, nivoglazial usw. sind nicht standardisiert und damit nicht direkt vergleichbar.

Wir haben den Quotienten (1) durch Herausstreichen des Monats März verändert, da dieser Monat im alpinen Raum noch eindeutig dem Minimum-Bereich angehört (2).

$$g = \frac{\text{JUL} + \text{AUG} + \text{SEP}}{\text{APR} + \text{MAI} + \text{JUN}} \quad (2)$$

g: Glazialitaet
JUL usw.: Abflusskoeffizient des jeweiligen Monats

Unsere Typisierung nach Rangfolge und Signifikanzen und die Typisierung aufgrund der Glazialitaet fuehren zu beinahe identischen Resultaten: die einzelnen Regimetypen lassen sich mit den g-Werten gut trennen; die Ueberschneidungsbereiche sind klein (Figur 21).



Figur 21. g-Werte der alpinen Typen berechnet auf der Basis der repraesentativen Stationen

| | | | |
|----|---------------|----|---------------|
| Aa | a-glazial | Bb | b-glazionival |
| Ab | b-glazial | C | nivoglazial |
| Ba | a-glazionival | D | nival |

Als Nachteil einer Typisierung nach den g-Werten muss das Fehlen von "a priori" festlegbaren Schwellenwerten angesehen werden.

Bei den glazialen Fluessen gelangt in den Monaten Juli bis September 1.6 bis 3.2 mal mehr Wasser zum Abfluss als in den Monaten April bis Juni. Das a-glaziale Regime hebt sich dabei deutlich vom b-glazialen Regime ab. Die glazionivalen Fluesse sind in den kalendarischen Sommermonaten immer noch abflussreicher als im Fruehjahr, waehrend bei den nivoglazialen Fluessen die Verhaeltnisse ausgeglichen sind. Einzugsgebiete mit nivalen Regimes sind in den Sommermonaten relativ abflussarm.

Die Ausbildung der typspezifischen Rangfolge der Monatsabfluesse ist bei kuerzeren, "ungenaueren" Perioden nicht gewaehrleistet. Damit darf aus der Regimekurve nicht auf den vorhandenen Typ geschlossen werden. Bei der Glazialitaet ist die monatliche Rangfolge nur von randlicher Bedeutung. Es wird deshalb ge-

prueft, ob sich aus den g-Werten von Einzeljahren oder von kuerzeren Messperioden Rueckschluesse auf die Regimetypen ziehen lassen.

Vorgehen:

1. Berechnung der g-Werte aller Einzeljahre saemtlicher repraesentativen Stationen (mit bekanntem Regimetyp);
2. Fuer jeden Typ: Haeufigkeiten der g-Werte in vorgegebenen Glazialitaetsklassen bestimmen ==> Wahrscheinlichkeiten der Typen in den einzelnen g-Klassen.

Dieses Vorgehen wird anhand eines Beispieles erlaeutert: In der g-Klasse 1.25 - 1.5 stellen wir nach dem Auswertungsschritt 1) die folgenden in Tab. 19 zusammengestellten relativen Haeufigkeiten fest.

Tabelle 19. Die Glazialitaetsklasse 1.25 - 1.50: Relative Haeufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten der Regimetypen in dieser Klasse.

| Typ | Haeufigkeit (rel.) | Wahrschein- lichkeit |
|-------------|-----------------------|-------------------------|
| a-glazial | 0.015 | 1.9% |
| b-glazial | 0.029 | 3.7% |
| GLAZIAL | 0.044 | 5.6% |
| a-glazional | 0.378 | 48.4% |
| b-glazional | 0.225 | 28.8% |
| GLAZIONAL | 0.603 | 77.2% |
| NIVOGLAZIAL | 0.125 | 16.9% |
| NIVAL | 0.009 | 1.3% |
| T O T A L | 0.781 | 100.0% |

Nach diesen relativen Haeufigkeiten laesst sich fuer autochthone Einzugsgebiete, deren Zugehoerigkeit zu einem Regimetyp bekannt ist, die Wahrscheinlichkeit berechnen, dass in einem Einzeljahr ein g-Wert zwischen 1.25 und 1.5 auftritt. Umgekehrt kann nun von einer unbekannten Station mit kurzer Messperiode aufgrund ihres g-Wertes auf den wahrscheinlichsten Regimetyp geschlossen werden (s. Tab. 20). Weist also eine nicht typisierte, anthropogen unbeeinflusste und autochthone Station einen g-Wert in der Groessenordnung 1.25 - 1.5 auf, so liegt die Wahrscheinlichkeit, dass es sich hierbei um ein glazionivales Regime handelt, bei 77%. Je groesser die Messperiode dieser unbekannten Station ist, um so sicherer wird es, dass der wahrscheinlichste Regimetyp auch effektiv vorhanden ist. Entspricht die Messdauer der empirisch festgelegten, so ist, wie dies Figur 21 veranschaulicht, die Zuordnung zu einem Regimetyp recht eindeutig.

Praktische Bedeutung des g-Wertes

Der aus der Sicht des g-Wertes wahrscheinlichste Typ kann mit dem Typ verglichen werden, der nach der mittleren Einzugsgebietshoehe und der Vergletscherung der betreffenden Station erwartet werden darf (s. Kapitel A 5). Erzielt man beim Vergleich Uebereinstimmung, so darf angenommen werden, dass der nach Hoehe und Vergletscherung ermittelte Typ auch tatsaechlich vorhanden ist, dass also im betreffenden Einzugsgebiet keine besonderen Verhaeltnisse vorliegen (anthropogene Beeinflussung, Karst etc). Eine schlechte Uebereinstimmung sollte auf jeden Fall Anlass genug sein, den Unstimmigkeiten auf den Grund zu gehen.

Tabelle 20. Wahrscheinlichkeit eines Typs nach dem g-Wert einer kuerzeren Messperiode (≥ 1 Jahr). Die Wahrscheinlichkeiten sind empirisch ermittelt.

| g-Wert | Wahrscheinlichkeit eines Haupttyps bzw. Typs (%) | | | | |
|----------|--|----------------|------|---|------|
| | Aa + Ab = A | Ba + Bb = B | C | D | |
| 0.25-0.5 | | | | | 100 |
| 0.5-0.75 | | 0.5 5.9 6.4 | 20.1 | | 73.4 |
| 0.75-1.0 | | 4.6 23.3 27.9 | 39.1 | | 33.0 |
| 1.0-1.25 | | 28.5 30.4 58.9 | 33.8 | | 7.3 |
| 1.25-1.5 | 1.9 3.7 5.6 | 48.4 28.8 77.2 | 16.0 | | 1.2 |
| 1.5-1.75 | 11.6 26.8 38.4 | 33.3 24.6 57.9 | 3.7 | | |
| 1.75-2.0 | 20.8 51.3 72.1 | 17.2 10.0 27.2 | 0.8 | | |
| 2.0-2.25 | 36.9 54.9 91.8 | 5.0 2.5 7.5 | 0.7 | | |
| 2.25-2.5 | 40.0 51.8 91.8 | 3.0 5.2 8.2 | | | |
| 2.5-2.75 | 70.6 29.4 100 | | | | |
| 2.75-3.0 | 58.2 35.8 94.0 | 6.1 6.1 | | | |
| 3.0-3.25 | 75.2 24.8 100 | | | | |
| 3.25-3.5 | 83.1 16.9 100 | | | | |
| 3.5-3.75 | 81.8 18.2 100 | | | | |
| > 3.75 | 78.6 21.4 100 | | | | |

Aa, Ab, A: a-glazial, b-glazial, GLAZIAL

Ba, Bb, B: a-glazionival, b-glazionival, GLAZIONIVAL

C: NIVOGLAZIAL

D: NIVAL

A 4.6.3. Variationskoeffizienten, Genauigkeiten und Beobachtungsdauer

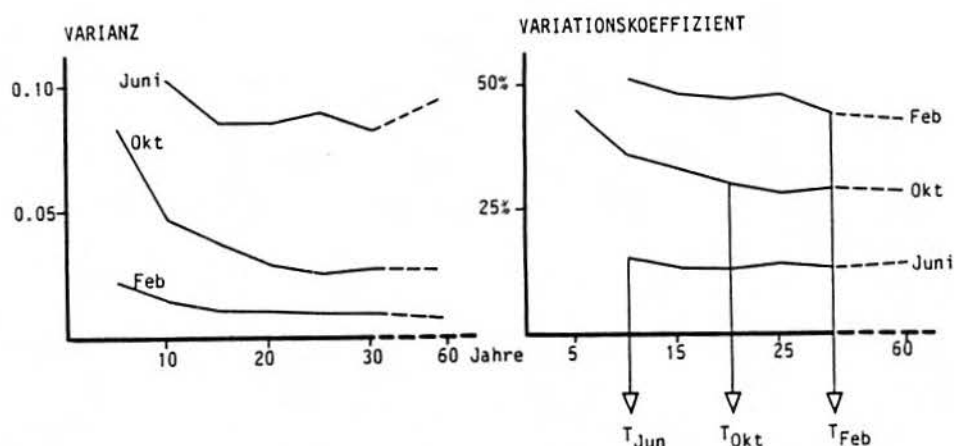
Nachdem in Kapitel A 3.1.2. die Beobachtungszeit in Abhaengigkeit des Variationskoeffizienten empirisch festgelegt wurde, soll nun nach der Regimetypisierung versucht werden, dieses "a priori" Verfahren zu beurteilen. Daneben interessieren natuerlich auch die mittleren Beobachtungszeiten und die typspezifischen Unterschiede. Folgende Fragen stehen im Vordergrund:

1. Sind die empirischen Festlegungen (Kap. A 3.1.2.) sinnvoll gewaehlt, und
2. wenn ja, wann werden die geforderten Genauigkeiten bei den einzelnen Regimetypen erreicht; d.h., wie gross sind die jeweiligen notwendigen Beobachtungszeiten ?

a) Variationskoeffizient und Beobachtungsdauer

Im allgemeinen genuegt eine grobe Schaetzung der Varianz zum Abschaetzen des Stichprobenumfanges (RIEDWYL 1975:143). Da die Berechnung der notwendigen Beobachtungsdauer bisher mit Hilfe des Variationskoeffizienten erfolgte, wird zuerst untersucht, wie der Variationskoeffizient von der Beobachtungsdauer abhaengt und unter welchen Umstaenden er zur Abschaetzung des Stichprobenumfanges nach der Formel (III) (Kap. A 3.1.2.) verwendet werden kann. Erst danach lassen sich die obgenannten Fragen beantworten.

Die Figur 22 zeigt, dass der Variationskoeffizient mit zunehmender Beobachtungszeit um einen Grenzwert zu streuen beginnt, wobei der Streubereich bei langen Beobachtungszeiten sehr klein wird. Der Zeitpunkt T, nach dem die Schwankungen um den Grenzwert vernachlaessigbar werden, ist von Regimetyp zu Regimetyp verschieden. Ab diesem Zeitpunkt T kann der Variationskoeffizient mit kleinem Fehler als konstant betrachtet werden und eignet sich deshalb ausge-



Figur 22. Abhaengigkeit der Varianz und des Variationskoeffizienten von der Beobachtungszeit (Luetschine, Gsteig, 1924-1980).

zeichnet fuer die Schaetzung des Stichprobenumfangs. Tabelle 21 gibt eine typspezifische Zusammenfassung der mittleren T der Koeffizienten Mai-Sep.

Tabelle 21. Konstanz der Variationskoeffizienten in Abhaengigkeit der Beobachtungszeit (Jahre); Mittelwert der Monate MAI-SEP.

| TYP | Zeitpkt. T |
|---------------|------------|
| a-glazial | 12 |
| b-glazial | 15 |
| a-glazionival | 9 |
| b-glazionival | 21 |
| nivoglazial | 17 |
| nival | 20 |

Aus den Zahlen der Tabelle 21 geht hervor, dass es nach spaetestens 21 Jahren Beobachtungszeit im alpinen Raum moeglich ist, die Genauigkeit der vorliegenden Daten oder - bei Vorgabe einer noch groesseren Genauigkeit - die notwendige Beobachtungsdauer zuverlaessig zu berechnen. Allgemein faellt auf, dass mit zunehmender Nivalitaet auch der Zeitpunkt T spaeter erreicht wird.

b) Mittlere Variationskoeffizienten

Nach diesen Ausfuehrungen lassen sich fuer die Messreihen der repraesentativen Stationen mit einer groesseren Beobachtungsdauer als das entsprechende T (vgl. Tab. 21) mittlere Variationskoeffizienten fuer die einzelnen Monate berechnen. Die Resultate sind in Tabelle 22 zusammengestellt.

Es faellt auf, dass der in Kap. A 3.1.2. erwaehnte Jahresgang der Variationskoeffizienten mit Maxima im auf- und absteigenden Ast des Abflussganges und mit Minima zur Zeit des Abflussmaximums und -minimums bei allen Regimetypen auftritt. Im weiteren zeigen alle Regimes praktisch identische Streubereiche in der Groessenordnung 0.15-0.40. Etwas hoeher liegen einzig die Koeffizienten des nivalen Regimes. Besonders die hier pluvial beeinflussten Herbstmonate zeigen groessere Variationen (0.45-0.50).

Tabelle 22. Mittlere Variationskoeffizienten der Regimetypen im Vergleich

| Monat | Aa | Ab | Ba | Bb | C | D | Streubereich |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| JAN | 0.25 | 0.26 | 0.31 | 0.24 | 0.26 | 0.36 | 0.24-0.36 |
| FEB | 0.24 | 0.30 | 0.31 | 0.21 | 0.25 | 0.39 | 0.21-0.39 |
| MRZ | 0.31 | 0.34 | 0.33 | 0.26 | 0.30 | 0.32 | 0.26-0.34 |
| APR | 0.39 | 0.40 | 0.39 | 0.39 | 0.36 | 0.34 | 0.34-0.40 |
| MAI | 0.26 | 0.28 | 0.25 | 0.34 | 0.27 | 0.22 | 0.22-0.34 |
| JUN | 0.21 | 0.21 | 0.16 | 0.17 | 0.16 | 0.20 | 0.16-0.21 |
| JUL | 0.14 | 0.13 | 0.14 | 0.21 | 0.19 | 0.24 | 0.13-0.24 |
| AUG | 0.15 | 0.15 | 0.16 | 0.23 | 0.20 | 0.23 | 0.15-0.23 |
| SEP | 0.24 | 0.25 | 0.22 | 0.25 | 0.30 | 0.36 | 0.22-0.36 |
| OKT | 0.29 | 0.30 | 0.38 | 0.41 | 0.39 | 0.44 | 0.29-0.44 |
| NOV | 0.30 | 0.35 | 0.43 | 0.38 | 0.37 | 0.56 | 0.30-0.56 |
| DEZ | 0.27 | 0.36 | 0.30 | 0.21 | 0.26 | 0.44 | 0.27-0.44 |
| Streu- be- reich | 0.14 - 0.39 | 0.13 - 0.40 | 0.14 - 0.43 | 0.17 - 0.41 | 0.16 - 0.39 | 0.20 - 0.56 | |

Aa a-glazial

Bb b-glazionival

Ab b-glazial

C nivoglazial

Ba a-glazionival

D nival

c) "A priori" und "a posteriori" Beobachtungszeiten

Die vorliegende Regimetypisierung basiert auf der Rangfolge der Maximalabflüsse. In Kapitel A 3.1.2. wurde die zu fordernde Genauigkeit fuer die Monate JUN-AUG empirisch auf 10 %, fuer die Monate MAI und SEP auf 15 % festgesetzt. Mit diesen Genauigkeitsanforderungen gelingt es, Rangfolgen zwischen Monatskoeffizienten bei Deltawerten von ca. 15-20 % mit grosser Wahrscheinlichkeit aufzudecken. Es stellt sich die Frage, ob diese Genauigkeiten ausreichen, um die festgestellten Regimetypen zu erkennen? Um diese Frage zu beantworten, sind in Tabelle 23 die Deltawerte zeitlich benachbarter Monate fuer die einzelnen Regimetypen zusammengestellt.

Tabelle 23. Deltawerte (%) benachbarter Monate bei den alpinen Regimetypen (Zur Berechnung von Delta siehe Kap. A 4.1; * bedeutet statistisch nicht signifikante Mittelwertsunterschiede).

| Typ | MAI/JUN | JUN/JUL | JUL/AUG | AUG/SEP | Rangfolge |
|-----|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| Aa | | 25-40 | * | 40-45 | JUL-AUG-JUN-SEP |
| Ab | | 20-25 | 10-15 | 35-50 | JUL-AUG-JUN-SEP |
| Ba | 35-60 | * | 15-30 | 20-45 | JUL-JUN-AUG-MAI |
| Bb | 40-60 | * | 15-35 | 20-45 | JUN-JUL-AUG-MAI |
| C | 25-55 | 5-30 | 20-35 | | JUN-JUL-MAI-AUG |
| D | 10-30 | 15-45 | 15-35 | | JUN-MAI-JUL-AUG |

Aa a-glazial

Bb b-glazionival

Ab b-glazial

C nivoglazial

Ba a-glazionival

D nival

Man erkennt, dass sich mit den vorgegebenen Genauigkeiten (JUN, JUL, AUG 10 %, MAI u. SEP 15 %) die Rangfolge der Monate und damit der Regimetyp festlegen lässt. Eine grössere Genauigkeit bringt keine Verbesserung, da zum Erkennen der kleineren Deltawerte eine Genauigkeit von 2-5 % gefordert werden müsste, was aber von der Datenlage her nicht realistisch ist. Andererseits reicht eine 15 - bis 20 %ige Genauigkeit nicht aus, um die Rangfolge mit grosser Wahrscheinlichkeit zu bestimmen.

Man kann davon ausgehen, dass die empirische Festlegung der Genauigkeiten in Kap. A 3.1.2. eine minimale, aber optimale Forderung ist, um ein alpines Fließgewässer einem der Regimetypen zuverlässig zuzuordnen.

Im Anschluss daran interessiert uns noch die Frage, bei welchen Beobachtungszeiten diese Genauigkeitsanforderungen erfüllt sind, und wie sich die einzelnen Regimetypen diesbezüglich unterscheiden. Beide Fragen lassen sich mit Hilfe der mittleren Variationskoeffizienten (Tabelle 22) und mit der Formel (III) (Kap. A 3.1.2.) approximativ beantworten. Danach gelten folgende "a posteriori" (im nachhinein festgelegte) Beobachtungszeiten:

| | | |
|--------------|---------------|---------------------------|
| glazial: | a-glazial | 17 Jahre Beobachtungszeit |
| | b-glazial | 17 Jahre Beobachtungszeit |
| glazionival: | a-glazionival | 11 Jahre Beobachtungszeit |
| | b-glazionival | 20 Jahre Beobachtungszeit |
| nivoglazial | | 15 Jahre Beobachtungszeit |
| nival | | 22 Jahre Beobachtungszeit |

Diese "a posteriori"-Beobachtungszeiten haben aber nur dann einen praktischen Wert, falls das zu erwartende Abflussregime bekannt ist. Eine Möglichkeit dazu wird in Kapitel A 5 erläutert. Andernfalls muss man im Mittel 20-25 Jahre messen, bis das Abflussregime mit grosser Wahrscheinlichkeit bestimmt werden kann.

Zum Schluss soll noch gezeigt werden, welche Auswirkungen diese Beobachtungszeiten auf die Genauigkeit der übrigen Monate haben. Aus der Tabelle 24 können die Genauigkeiten der Monate JAN-APR und OKT-DEZ entnommen werden, falls die "a posteriori" Beobachtungszeiten eingehalten werden.

Tabelle 24. Schätzgenauigkeit der Monate JAN-APR und OKT-DEZ in % bei Vorgabe der notwendigen Beobachtungszeit

| TYP | N | JAN | FEB | MRZ | APR | OKT | NOV | DEZ |
|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Aa | 17 | 12 | 11 | 15 | 18 | 14 | 14 | 13 |
| Ab | 17 | 12 | 14 | 16 | 19 | 14 | 17 | 17 |
| Ba | 11 | 18 | 18 | 19 | 23 | 22 | 25 | 18 |
| Bb | 20 | 10 | 9 | 11 | 17 | 18 | 17 | 9 |
| C | 15 | 13 | 13 | 15 | 18 | 20 | 19 | 13 |
| D | 22 | 15 | 16 | 13 | 14 | 18 | 23 | 18 |

N "a posteriori"-Beobachtungszeit

Aa a-glazial Bb b-glazionival

Ab b-glazial C nivoglazial

Ba a-glazionival D nival

Da die Genauigkeit aus den mittleren Variationskoeffizienten berechnet wurde, zeigt sich dasselbe relativ einheitliche Bild: die einzelnen Regimetypen unterscheiden sich nur wenig. Die Genauigkeiten im Bereich des Minimums betragen 10-15 %, im aufsteigenden Ast 15-20 %, im Bereich des Maximums gemäss Vorgabe 10 % und im absteigenden Ast 15-20 %, in Einzelfällen bis 25 %.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Anhand von Mittelwertsunterschieden zwischen den Monatskoeffizienten verschiedener Regimes lässt sich zeigen, dass die empirisch festgelegte Genauigkeit

von 10 % fuer die Maximalabfluesse JUN-AUG und 15 % fuer die Monate MAI und SEP eine optimale Forderung bei der Berechnung der notwendigen Beobachtungszeit ist. Im Alpenraum ist diese Forderung nach rund 20-25 Jahren Beobachtung erreicht. Einzelne Regimetypen weisen weniger lange Beobachtungszeiten auf. Dies hat aber nur dann eine Bedeutung, falls das zu erwartende Abflussregime bereits bekannt ist. Beim Einhalten dieser Beobachtungszeiten werden die uebrigen Monatsmittel generell auf 10-20 % genau ermittelt.

A 5. RAEUMLICHE UEBERTRAGUNG

A 5.1. BEDEUTUNG DER MITTLEREN HOEHE UND DER VERGLETSCHERUNG

Ein wichtiges Anliegen dieser Arbeit ist es, die gefundenen Regimetypen im Raum festzulegen. Zur Ausfuehrung dieses Umsetzungsschrittes sind Kenntnisse ueber die wichtigsten Kausalbeziehungen zwischen den raeumlichen Gegebenheiten und dem jeweiligen Regimetyp notwendig.

GAUDET(1975) und SCHMIDT(1981) weisen solche Kausalbeziehungen aus (vgl. Kapitel A 1). Als wesentliche Parameter zur raeumlichen Umsetzung ihrer Typen fuehren sie die Vergletscherung (GAUDET) und die mittlere Einzugsgebietshoehe (SCHMIDT) auf. Diese beiden Parameter sind im besonderen Masse fuer eine raeumliche Transformation der Typen geeignet; so stellten wir bereits bei der Grundtypisierung die Bedeutung der mittleren Einzugsgebietshoehe als Trenngroesse der eingipfligen Regimes von den mehrgipfligen fest. Beide Parameter haben integralen Charakter; die mittlere Hoehe beschreibt indirekt

- den saisonalen Temperaturgang (Zeitpunkt der Schmelzprozesse, Dauer der Phase der Schneeretention),
- das Ausmass der winterlichen Retention (Schneehoehen),
- und die Flaechenanteile abflusssteuernder Raumelemente wie Wald, Weide, Oedland und auch Gletscher.

Die abflusssteuernde Wirkung der Vergletscherung ist allgemein bekannt (PARDE 1933).

Dank dieser Parameter ist es nun moeglich, auch in Gebieten, wo nur spaerliche oder keine Direktmessungen moeglicher Schaetzparameter wie Temperatur, Schneehoehe etc. vorhanden sind, zuverlaessige Aussagen hinsichtlich der saisonalen Abflussverhaeltnisse zu machen. Im Gegensatz zu anderen raeumlichen Parameter sind die Vergletscherung und die mittlere Hoehe innerhalb der nord-alpinen Zone ueberregional vergleichbar, da sie keiner lokalen Beeinflussung unterliegen. Beide Parameter sind einfach in der Handhabung. Dazu einige Bemerkungen:

- **Mittlere Einzugsgebietshoehe:** Um die Jahrhundertwende 19./20. Jahrhundert ermittelte die damalige "Hydrometrische Abteilung des Eidgenoessischen Oberbauinspektorates" (EIDG. OBERBAUINSPEKTORAT) auf der Grundlage des SIEGFRIED-Atlasess beinahe fuer die ganze Schweiz:
 1. die Flaechen aller Einzugsgebiete ab 10 - 15 km²,
 2. die Flaechen der Hoehenstufen von 300 zu 300 m in diesen Einzugsgebieten ==> Grundlage zur Berechnung der mittleren Hoehe,
 3. die Flaechenanteile der Waelder, der Gletscher, der Seen und des Oedlandes in diesen Einzugsgebieten.

Dank des besonderen Aufbaus dieser Publikation ist es moeglich, diese Angaben in raeumlich sehr detaillierter Aufloesung zu ermitteln. Unsere Hoehenangaben und teilweise auch unsere Vergletscherungswerte stuetzen sich auf diese Veroeffentlichungen ab.

- **Vergletscherung:** Etwas aufwendiger gestaltet sich die Bestimmung der Vergletscherung: Seit dem Ende der sog. "little ice age" im ausgehenden 19. Jahrhundert kann eine starke Abnahme der Vergletscherung beobachtet werden, wie die Aufstellung in Tab. 25 belegt.

Tabelle 25. Veränderung der Gletscherflächen in den Abflussgebieten der Schweiz (nach KASSER 1978:116)

| Einzugsgebiete (ohne Ausland) | Gletscherfläche in % der Fläche von 1876 | | |
|----------------------------------|---|------|------|
| | 1876 | 1934 | 1973 |
| Rhein bis Aare | 100 | 65 | 51 |
| Aare bis Reuss | 100 | 94 | 81 |
| Reuss | 100 | 84 | 70 |
| Limmat | 100 | 85 | 69 |
| Rhone | 100 | 90 | 80 |
| Inn | 100 | 69 | 57 |

Die Vergletscherung von ca. 1890 (je nach Aufnahmedatum des jeweiligen SIEGFRIED-Blattes) kann der vorhin erwähnten amtlichen Veröffentlichung entnommen werden. Den Zustand zwischen ca. 1930 und 1940 verdanken wir RINDLISBACHER (1954). Die Angaben dieses Autors basieren auf der Planimetrierung der Gletscherflächen auf der "Neuen Landeskarte 1 : 50'000". Die genaue Jahreszahl der dargestellten Vergletscherung hängt vom Datum der Erstaufnahme des Kartenblatts sowie vom Datum der Nachführungen ab. Abklärungen haben ergeben, dass es in den meisten Fällen unmöglich ist, die genaue Jahreszahl der auf der Karte dargestellten Vergletscherung zu bestimmen. Die umfassendste Aufnahme der Gletscher stammt aus dem Jahr 1973 (CAFLISCH et al. 1976). Sie stellt den Zustand der Gletscher im September 1973 dar.

Bei der Ausarbeitung der Kausalbeziehungen mittels der repräsentativen Stationen ist - infolge dieser markanten Veränderungen der Gletscherflächen - die Kenntnis der mittleren Vergletscherung der jeweiligen Massperiode sehr wichtig.

Die im "Hydrographischen (Hydrologischen) Jahrbuch" publizierten Vergletscherungswerte entsprechen in vielen Fällen nicht der effektiven Vergletscherung der jeweiligen Station, sondern entsprechen dem von RINDLISBACHER ermittelten Zustand.

Wie die nachfolgenden Untersuchungen zeigen, können mit der Vergletscherung und der mittleren Höhe für jeden Regimetyp Richtwerte ausgewiesen werden.

A 5.2. DIE RÄUMLICHEN RICHTWERTE DER ALPINEN REGIMETYPEN

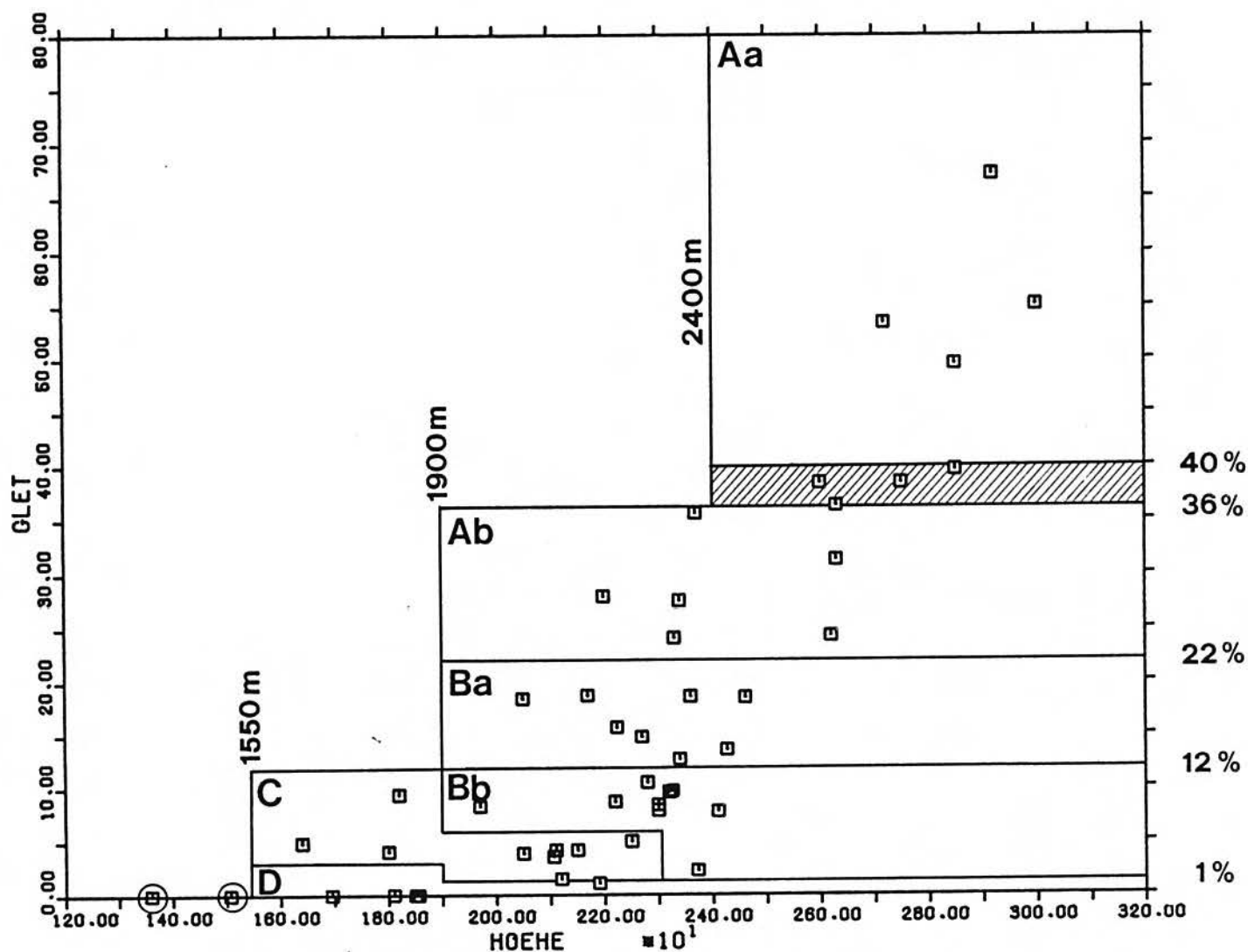
Zur Ausweisung der Kausalbeziehungen bzw. der räumlichen Richtwerte werden wiederum die repräsentativen Stationen zugezogen; die mittleren Höhen und die Vergletscherungen ihrer Einzugsgebiete sind in Figur 23 dargestellt. Die Festlegung der typspezifischen, räumlichen Richtwerte erfolgt aufgrund der Anordnung der Stationen in diesem Diagramm.

Bei der räumlichen Begrenzung der einzelnen Typen spielt die Vergletscherung eine hervorragende Rolle, während die mittlere Höhe vor allem bei kleineren Vergletscherungswerten als weiteres Gliederungskriterium von Bedeutung ist. Die räumliche Begrenzung der einzelnen Typen weist wenig Überschneidungen auf, die ihrerseits durch lokale Besonderheiten verursacht werden können:

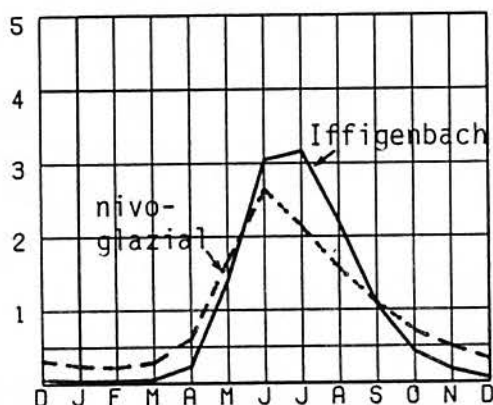
- Durch die Speichermechanismen im verkarsteten Untergrund werden die nivalen und glazialen Steuermechanismen verändert. Beispiele: Iffigenbach-Lenk (vgl. Figur 24), La Liene-Tseusier (s. WILDBERGER 1981), Brenno-Olivone (s. Teil III, Kap. 5.3, S. 4).

ABHAENGIGKEIT DER REGIMETYPEN VON
MITTLERER HOEHE U. VERGLETSCHERUNG

| | | | |
|-----------|-----------------|-----------|-----------|
| Aa | a-glazial | > 2400m | 40% |
| | Uebergang | | 36-40% |
| Ab | b-glazial | > 2100m | 22-36% |
| Ba | a-glazionival | > 2000m | 12-22% |
| Bb | b-glazionival | > 1900m | 6-12% od. |
| | | > 2300m | 1-12% |
| C | nivoglazial | 1500-1900 | 3-12% od. |
| | | 1900-2300 | 1-6 % |
| D | nival | 1550-1900 | 0-3 % od. |
| | | ab 1900m | 0-1 % |
| ○ | Fehlklassierung | | |



Figur 23. Die räumlichen Richtwerte der alpinen Typen. Die Fehlklassifikationen bei den repräsentativen Stationen sind speziell hervorgehoben



Figur 24. Karst und Abflussregime am Beispiel des Iffigenbach-Lenk, Iffigenfall (1965 - 1980):
Aufgrund der Vergletscherung (15%) und der mittleren Hoehe (2182 m) gehoert der Iffigenbach eigentlich zum nivoglazialen Regimetyp. Durch den Einfluss des Karstes weist er aber ein uncharakteristisches saisonales Abflussverhalten auf.

- In stark foehnexponierten Einzugsgebieten ist eine Zunahme der Nivalitaet, also eine frueheres Einsetzen der Schmelzprozesse zu erwarten;
- Ein starkes Ueberwiegen einer Exposition kann die Schmelzprozesse in ihrem zeitlichen Ablauf beeinflussen. Die Maira-Vicosoprano und der Ticino-Piotta im suedalpinen Kollektiv liefern dazu zwei Beispiele.

Andererseits ist auch zu bemerken, dass sich der räumliche Wandel der Regimetypen kontinuierlich vollzieht und somit eigentliche Uebergangsbereiche entstehen.

Als Besonderheiten in Fig.23 muessen auch die Stationen Muota - Ingenbohl und Thur - Alt St. Johann erwaeht werden. Beide Stationen verursachen bei der Grundgliederung in Kapitel A 2 Fehlklassifikationen, da sie eingipflige Regimes aufweisen, obwohl sie unter 1550 m mittlerer Hoehe liegen. Inwieweit die verkarsteten Einzugsgebiete (Muotatal, Saentis) dafuer verantwortlich sind, kann nicht definitiv beantwortet werden. Es ist allerdings denkbar, dass ein allfaelliger pluvialer "peak" im Herbst bei der Regimekurve nicht in Erscheinung treten kann, weil die herbstlichen Niederschlaege primaer die unterirdischen Speicher wieder aufzufuellen beginnen und daher nicht direkt zum Abfluss gelangen.

Die glazialen Regimes weisen generell eine mittlere Hoehe > 2300 m und eine Vergletscherung > 22% auf. Ein Uebergangsbereich von 36 - 40% trennt die beiden glazialen Typen. Die beiden glazionivalen Typen, deren Hauptunterscheidungsmerkmal die Dominanz des Monats Juli bzw. Juni ist, lassen sich räumlich sehr gut trennen. Bei Einzugsgebieten mit Vergletscherungswerten zwischen 1 und 12% spielt die mittlere Hoehe fuer die Auspraegung des b-glazionivalen oder des nivoglazialen Typs eine entscheidende Rolle. Aehnliches gilt es zur Trennung der nivoglazialen und nivalen Regimes zu bemerken.

Die repraesentativen Stationen des Inn - Einzugsgebietes sind aus der Figur 23 ausgeschlossen, da sie viele Fehlzuordnungen verursachen. Das Inngebiet stellt innerhalb der alpinen Zone ein Individuum dar. Diese Tatsache veranlasst uns, hier andere räumliche Richtwerte auszuweisen. Wegen der geringen Zahl repraesentativer Stationen sind diese Richtwerte allerdings weniger gut belegt als diejenigen der restlichen nordalpinen Gebiete. Die mittlere Einzugsgebietshoehe

ist im Inngebiet als räumliches Gliederungskriterium unbedeutend, da sie meistens > 2300 m beträgt:

| | |
|--------------|-----------------------|
| a-glazial: | > 30% Vergletscherung |
| b-glazial: | > 20% Vergletscherung |
| a-glazional: | > 12% Vergletscherung |
| b-glazional: | > 6% Vergletscherung |
| nivoglazial: | > 1% Vergletscherung |
| nival: | < 1% Vergletscherung |

Gemaess diesen grundlegenden Kausalbeziehungen Raum --> Typ ist es nun moeglich, die alpine Zone in sog. Gebietstypen zu gliedern und fuer beliebige Einzugsgebiete zwischen 10 und 500 km² (Flaechenbereich der repraesentativen Stationen) den mit grosser Wahrscheinlichkeit vorhandenen Regimetyp vorherzusagen.

Es ist geplant, diese Ergebnisse zusammen mit den mittellaendisch-jurassischen und den suedalpinen Regimes in kartographischer Form darzustellen (ASCHWANDEN und WEINGARTNER 1985).

A 5.3. VERGLEICH MIT ANDEREN ARBEITEN

Die Untersuchungen von PARDE(1933), GAUDET(1975) und SCHMIDT(1981) lassen bezueglich der räumlichen Uebertragung der Typen einen Vergleich mit unserer Untersuchung zu. Um dies zu ermoeeglichen, muessen die Typen dieser Autoren - sofern dies wie bei GAUDET nicht schon geschehen ist - räumlich umgesetzt werden: anhand der von den Autoren erwaehten Einzugsgebiete werden die Vergletscherungsgrenzwerte approximiert (vgl. Figur 25). Die Arbeit von SCHMIDT laesst dabei einige Luecken offen.

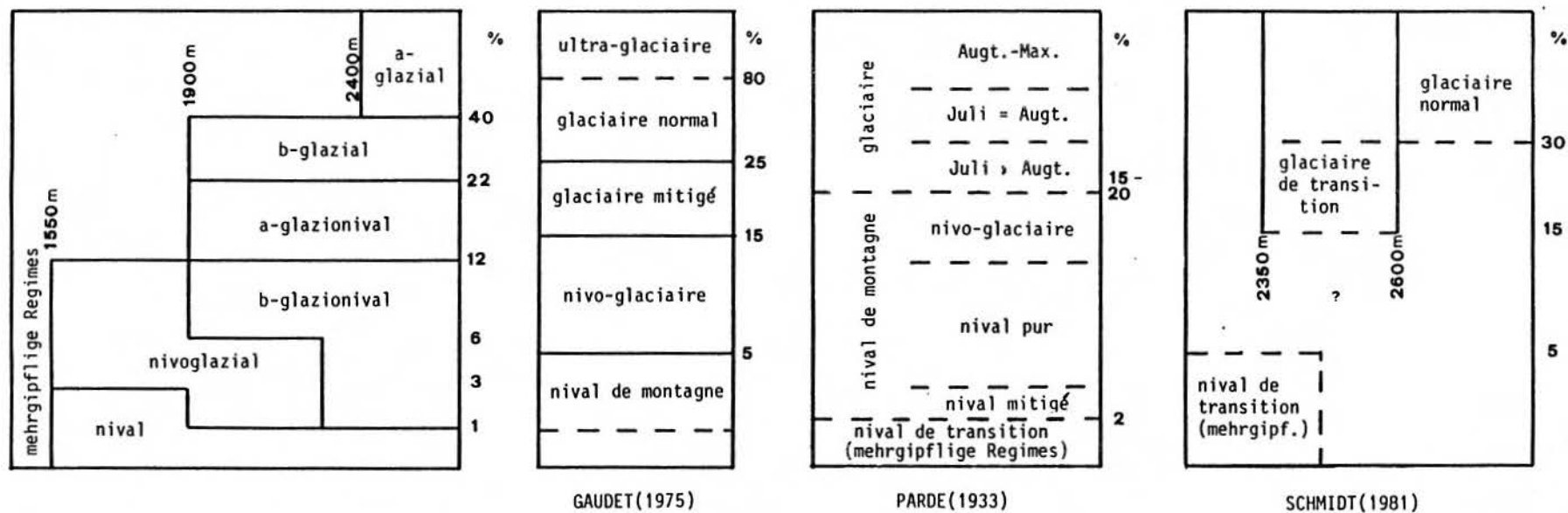
Natuerlich waere es zur Verbesserung des Vergleiches wuensenswert, bei PARDE und GAUDET auch eine Hoehengliederung einzubeziehen. Wir verzichten aber darauf, da die mittlere Einzugsgebietshoehe wegen der Beruecksichtigung allochthoner Stationen nicht sehr aussagekraeftig ist.

Die Typbezeichnungen (Begriffe) der einzelnen Autoren sind uneinheitlich, obwohl das Vorbild von PARDE ueberall zu erkennen ist. Die Figur 25 soll helfen, diese begrifflichen Schranken abzubauen: Unserem a-glazionalen Regime entspricht beispielsweise das "régime glaciaire mitigé" von GAUDET und das "régime nivo-glaciaire" von PARDE recht genau, waehrend die Umsetzung zu SCHMIDT mit dem "régime de transition" nur ungenau gelingt.

Vergleich mit der Untersuchung von GAUDET(1975)

Beide Typisierungen beruhen primaer auf der Rangfolge der sommerlichen Monatsabfluesse. Der Vergleich dieser beiden Untersuchungen ist deshalb am interessantesten. Es erstaunt unter diesen Voraussetzungen nicht, dass die bei der räumlichen Transformation gefundenen Grenzwerte der Vergletscherung sich nicht allzu stark unterscheiden, womit auch die Verwandtschaft der Abflussregimes der alpinen Zone mit den Regimes der Westalpen angedeutet wird.

GAUDET verwendet als Kriterium zur räumlichen Umsetzung ihrer Typen einzig die Vergletscherung, waehrend wir zusaetzlich noch die mittlere Einzugsgebietshoehe miteinbeziehen. Es hat sich gerade bei kleineren Vergletscherungen (0 bis etwa



Figur 25: Vergleich der vorliegenden Typisierung mit anderen Arbeiten zu den schweizerischen Regimes - Zur Herleitung der Vergletscherungsgrenzen und der mittleren Hoehe vgl. Text. ---- bedeutet: anhand der vom betreffenden Autor aufgefuehrten Beispiele approximierte Grenze.

12%) gezeigt, dass die mittlere Einzugsgebietshoehe den tatsaechlich vorhandenen Regimetyp entscheidend mitbestimmt.

GAUDET verwendet fuer ihre Typisierung sowohl autochthone wie auch allochthone Stationen. Trotzdem differieren die Grenzwerte der Vergletscherung nur wenig von unseren ausschliesslich auf autochthonen Flussgebieten beruhenden Werten. Es kann daher angenommen werden, dass die Vergletscherung die sommerliche Monatsrangfolge allochthoner Fluesse in aehnlicher Weise wie bei den autochthonen Fluessen zu steuern vermag (nicht aber die Intensitaeten der monatlichen Koeffizienten, welche in den Sommermonaten bei den allochthonen Regimes kleiner sind).

Insgesamt erweist sich die von GAUDET angewendete Methode als ein gangbarer Weg, wobei durch Verbesserung der Methodenvoraussetzungen (Genauigkeiten etc.) und durch den Einbezug der Signifikanzen Verfeinerungen erzielt werden konnten, welche es erlauben, die einzelnen Typen mit recht exakten Richtwerten zu definieren.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Grundtypisierung der mittleren Abflussregimes aufgrund der von PARDE(1933) eingefuehrten Komplexitaetsstufen laesst drei Zonen erkennen. Als Trennungskriterium dient die mittlere Einzugsgebietshoehe. Im nordalpinen Raum trennt die 1550 m-Linie Einzugsgebiete mit eingipfligen Regimes (alpine Regimes) von solchen mit mehreren Maxima und Minima (mittellaendisch-jurassische Regimes). Auf der Alpensuedseite ist die raeumliche Verzahnung der ein- und mehrgipfligen Regimes sehr gross, so dass sie nach der Komplexitaet der Regimes nicht weiter gegliedert werden kann (suedalpine Regimes).

Zur Typisierung der alpinen Abflussregimes stehen rund 40 repraesentative Stationen zur Verfuegung, deren Datenreihen strengen Anforderungen (Konsistenz, Homogenitaet, genuegend grosse Beobachtungszeit) genuegen und deren Einzugsgebiete autochthon sind und natuerliche Abflussverhaeltnisse aufweisen. Mit diesen Stationen gelingt es in Anlehnung an einen Typisierungsansatz von GAUDET(1975), die alpinen Abflussregimes in vier Typen zu untergliedern. Ueber die Rangfolge der fuenf abflussreichsten Monate werden glaziale, glazionivale, nivoglaziale und nivale Abflussregimes ausgeschieden. Die Signifikanz von Mittelwertsdifferenzen zwischen bestimmten Monatsabfluessen liefert bei den glazialen und den glazionivalen Regimes ein weiteres Typisierungskriterien, das zu Untertypen fuehrt.

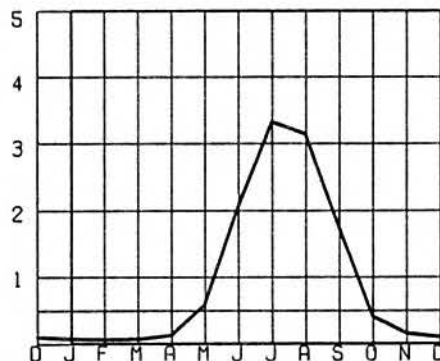
Mit den beiden integralen raeumlichen Parameter mittlere Einzugsgebietshoehe und Vergletscherung kann der Raumbezug der Typen und Untertypen hergestellt werden. Die Angabe von raeumlichen Schwellenwerten gestattet es, in Gebieten ohne Direktmessungen zuverlaessige Aussagen hinsichtlich des vorhandenen Regimetyps und damit hinsichtlich der saisonalen Abflussverhaeltnisse zu machen.

Erlaeuterungen zu den zusammenfassenden Tabellen

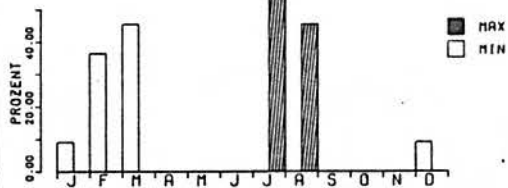
Auf den folgenden Seiten sind die wichtigsten Angaben zu den einzelnen Regimetypen tabellarisch und graphisch zusammengefasst. Unter "Repraesentative Stationen" sind diejenigen Stationen eines Regimetyps aufgefuehrt, die alle notwendigen Kriterien der Repraesentativitaet erfuellen. Unter "Weitere Stationen" sind Einzugsgebiete aufgefuehrt, die aufgrund des Kurvenverlaufs dem jeweiligen Regimetyp eindeutig zugeordnet werden koennen, auch wenn bezueglich Repraesentativitaet nicht alle Kriterien vollstaendig erfuellt sind.

JUL - AUG > JUN - SEP

| | |
|--|---------------|
| | a-glazial |
| | b-glazial |
| | a-glazionival |
| | b-glazionival |
| | nivoglazial |
| | nival |

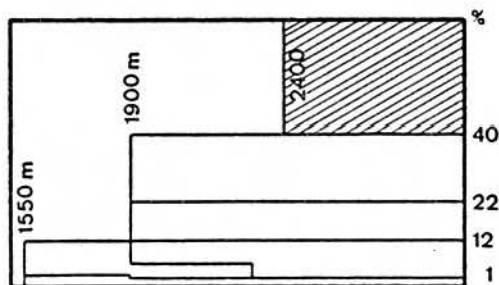


MATV5060 BEOB.-DAUER: 11 JAHRE



| Monat | Streubereich des A-Koeff. | Mittlere Var-Koeff. | Mittl. Genauigkeit bei N=17 |
|-------|---------------------------|---------------------|-----------------------------|
| JAN | 0.03-0.14 | 0.25 | 12 % |
| FEB | 0.03-0.12 | 0.24 | 11 % |
| MRZ | 0.04-0.14 | 0.31 | 15 % |
| APR | 0.12-0.29 | 0.39 | 18 % |
| MAI | 0.55-1.01 | 0.26 | 15 % |
| JUN | 1.85-2.18 | 0.21 | 10 % |
| JUL | 2.83-3.34 | 0.11 | 10 % |
| AUG | 2.60-3.27 | 0.15 | 10 % |
| SEP | 1.53-1.95 | 0.24 | 15 % |
| OKT | 0.42-0.66 | 0.29 | 14 % |
| NOV | 0.11-0.31 | 0.30 | 14 % |
| DEZ | 0.05-0.18 | 0.27 | 13 % |

Notwendige Beobachtungszeit: 17 Jahre
 Abflusssumme Mai-September: 88.5 %



Mittlere Hoehe: ab 2400 m
 Vergletscherung: ab 36 %
 (INN: ab 30 %)
 Glazialitaet: 2.40-3.20

Repraesentative Stationen

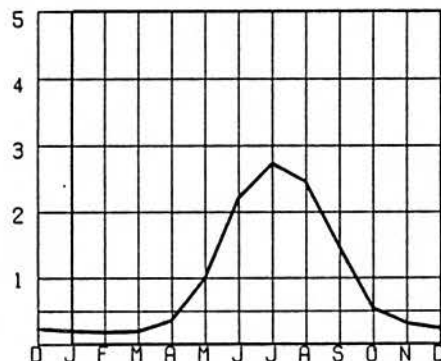
Kander, Gasterntal 1950-80
 Lonza, Blatten 1956-80
 Massa, Massaboden 1924-64
 Rhone, Gletsch 1956-80
 Rosegbach, Pontresina 1960-80

Weitere Stationen

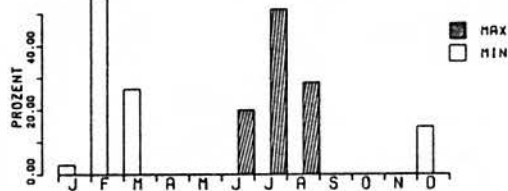
Matter Vispa, Randa 1917-28
 Matter Vispa, Zermatt 1950-60
 Reuse d. Saleina, Orsières 1956-72

JUL > AUG > JUN > SEP

| | |
|--|---------------|
| | a-glazial |
| | b-glazial |
| | a-glazionival |
| | b-glazionival |
| | nivoglazial |
| | nival |

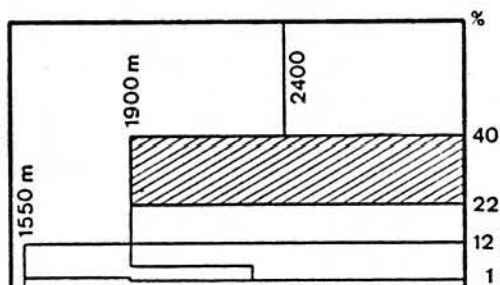


BORG2962 BEOB.-DAUER: 34 JAHRE



| Monat | Streubereich des A-Koeff. | Mittlere Var-Koeff. | Mitt. Genauigkeit bei N=17 |
|-------|---------------------------|---------------------|----------------------------|
| JAN | 0.07-0.25 | 0.26 | 12 % |
| FEB | 0.06-0.21 | 0.30 | 14 % |
| MRZ | 0.07-0.22 | 0.34 | 16 % |
| APR | 0.18-0.46 | 0.40 | 19 % |
| MAI | 0.93-1.31 | 0.28 | 15 % |
| JUN | 2.13-2.56 | 0.21 | 10 % |
| JUL | 2.41-3.12 | 0.13 | 10 % |
| AUG | 2.20-2.72 | 0.15 | 10 % |
| SEP | 1.25-1.64 | 0.25 | 15 % |
| OKT | 0.47-0.78 | 0.30 | 14 % |
| NOV | 0.18-0.48 | 0.35 | 17 % |
| DEZ | 0.10-0.33 | 0.36 | 17 % |

Notwendige Beobachtungszeit: 17 Jahre
 Abflusssumme Mai-September: 84.5 %



Mittlere Hoehe: ab 2100 m

Vergletscherung: 22-36 %

(INN: 20-30 %)

Glazialitaet: 1.60-2.00

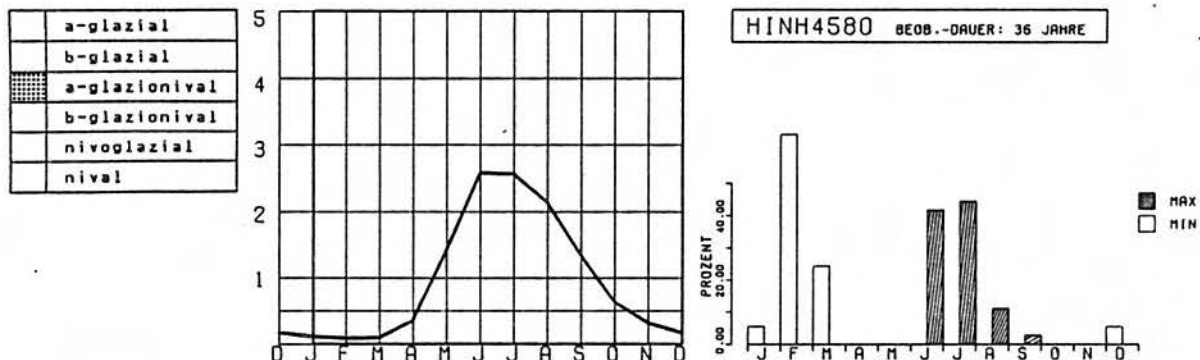
Repraesentative Stationen

| | |
|-------------------------|---------|
| Alpbach, Erstfeld | 1961-80 |
| Borgne, La Luetta | 1929-62 |
| Drance d. B., Le Chable | 1922-56 |
| Kander, Kandersteg | 1917-80 |
| Linth, Tierfehd | 1918-61 |
| Simme, Oberried | 1949-80 |

Weitere Stationen

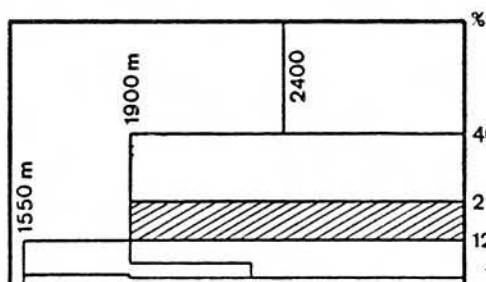
| | |
|--------------------------|---------|
| Saaser Vispa, Zermeigern | 1923-63 |
|--------------------------|---------|

JUL - JUN > AUG > MAI



| Monat | Streubereich des A-Koeff. | Mittlere Var-Koeff. | Mitt.Genauig- keit bei N=11 |
|-------|------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| JAN | 0.09-0.24 | 0.31 | 18 % |
| FEB | 0.08-0.21 | 0.31 | 18 % |
| MRZ | 0.09-0.31 | 0.33 | 19 % |
| APR | 0.25-0.69 | 0.39 | 23 % |
| MAI | 1.02-1.46 | 0.25 | 15 % |
| JUN | 2.20-2.84 | 0.16 | 10 % |
| JUL | 2.40-2.80 | 0.14 | 10 % |
| AUG | 1.71-2.24 | 0.16 | 10 % |
| SEP | 1.15-1.44 | 0.22 | 15 % |
| OKT | 0.57-0.95 | 0.38 | 22 % |
| NOV | 0.16-0.49 | 0.43 | 25 % |
| DEZ | 0.14-0.30 | 0.30 | 18 % |

Notwendige Beobachtungszeit: 11 Jahre
 Abflusssumme Mai-September: 81.5 %



Mittlere Hoehe: ab 2000 m
 Vergletscherung: 12-22 %
 (INN: 12-20 %)
 Glazialitaet: 1.25-1.65

Repraesentative Stationen

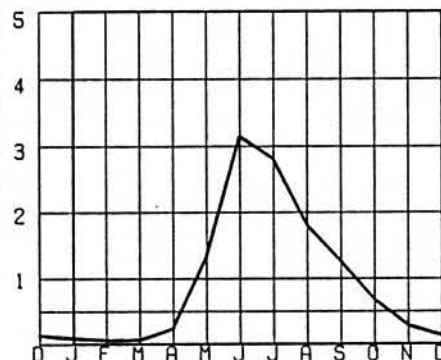
| | |
|-----------------------------|---------|
| Berninabach, Pontresina | 1955-80 |
| Drance d.F., Branche d.h. | 1956-73 |
| Engelberger Aa, Engelberg | 1955-80 |
| Ferrerabach, Trun | 1963-80 |
| Gornernbach, Kiental | 1950-80 |
| Hinterrhein, Hinterrhein | 1945-80 |
| Inn, St. Moritz-Bad | 1917-80 |
| Luetschine, Gstaig | 1924-80 |
| W.Luetschine, Z'luetschinen | 1933-80 |
| Witenwasserrenreuss, Realp | 1957-80 |

Weitere Stationen

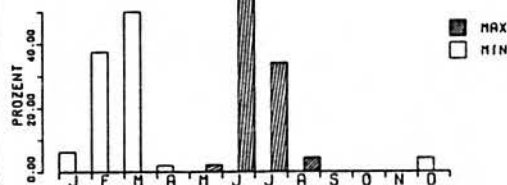
| | |
|-------------------|---------|
| Meienreuss, Husen | 1930-44 |
|-------------------|---------|

JUN - JUL > AUG > MAI

| | |
|--|---------------|
| | a-glazial |
| | b-glazial |
| | a-glazionival |
| | b-glazionival |
| | nivoglazial |
| | nival |

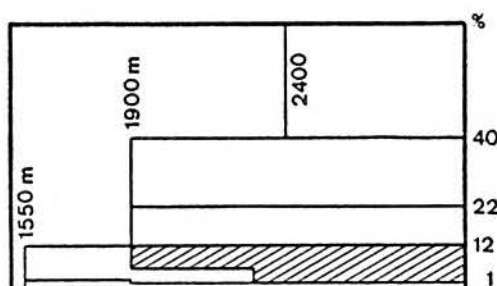


SOMS3274 BEOB.-DAUER: 43 JAHRE



| Monat | Streubereich des A-Koeff. | Mittlere Var-Koeff. | Mitt.Genauigkeit bei N=20 |
|-------|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| JAN | 0.14-0.38 | 0.24 | 10 % |
| FEB | 0.12-0.37 | 0.21 | 9 % |
| MRZ | 0.14-0.38 | 0.26 | 11 % |
| APR | 0.28-0.48 | 0.39 | 17 % |
| MAI | 1.22-1.50 | 0.34 | 15 % |
| JUN | 2.42-2.87 | 0.17 | 10 % |
| JUL | 2.17-2.60 | 0.21 | 10 % |
| AUG | 1.57-1.88 | 0.23 | 10 % |
| SEP | 0.94-1.46 | 0.25 | 15 % |
| OKT | 0.61-0.96 | 0.41 | 18 % |
| NOV | 0.36-0.74 | 0.38 | 17 % |
| DEZ | 0.19-0.45 | 0.21 | 9 % |

Notwendige Beobachtungszeit: 20 Jahre
 Abflusssumme Mai-September: 79.0 %



Mittlere Hoehe: Vergletscherung:

ab 2300 m 1-12 % (INN: 6-12 %)
 1900 - 2300 m 6-12 %

Glazialitaet: 1.10-1.35

Repraesentative Stationen

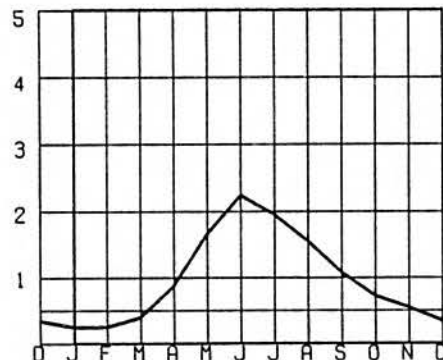
| | |
|----------------------------|---------|
| Dischmabach, Davos | 1964-80 |
| Inn, Sils | 1921-32 |
| Reuss, Andermatt | 1919-45 |
| Salanfe, Montagne d. S. | 1929-49 |
| Somvixer Rhein, Alp Sutgl. | 1932-74 |

Weitere Stationen

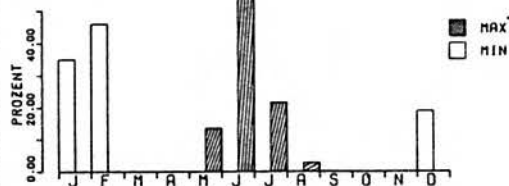
| | |
|----------------------------|---------|
| Binna, Binn | 1919-27 |
| Saltina, Brig | 1966-80 |
| Somvixer Rhein, Acla Mulin | 1937-60 |
| Landquart, Klosters | 1934-74 |

JUN > JUL > MAI - AUG

| | |
|--|---------------|
| | a-glazial |
| | b-glazial |
| | a-glazionival |
| | b-glazionival |
| | nivoglazial |
| | nival |

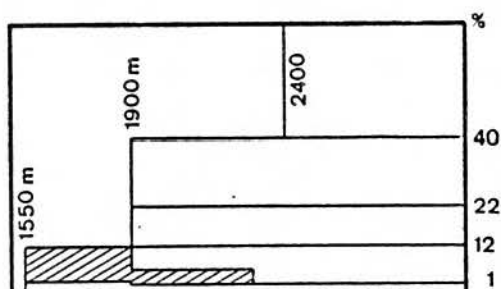


SHAE3066 BEOB.-DAUER: 37 JAHRE



| Monat | Streubereich des A-Koeff. | Mittlere Var-Koeff. | Mitt. Genauigkeit bei N=15 |
|-------|---------------------------|---------------------|----------------------------|
| JAN | 0.13-0.37 | 0.26 | 13 % |
| FEB | 0.12-0.33 | 0.25 | 13 % |
| MRZ | 0.13-0.41 | 0.30 | 15 % |
| APR | 0.34-0.88 | 0.36 | 18 % |
| MAI | 1.23-2.03 | 0.27 | 15 % |
| JUN | 2.25-3.00 | 0.16 | 10 % |
| JUL | 1.93-2.37 | 0.19 | 10 % |
| AUG | 1.30-1.80 | 0.20 | 10 % |
| SEP | 1.02-1.26 | 0.30 | 15 % |
| OKT | 0.46-0.86 | 0.39 | 20 % |
| NOV | 0.32-0.62 | 0.37 | 19 % |
| DEZ | 0.20-0.45 | 0.26 | 13 % |

Notwendige Beobachtungszeit: 15 Jahre
 Abflusssumme Mai-September: 76.0 %



Mittlere Hoehe: Vergletscherung:

1500 - 1900 m 3-12 %
 1900 - 2300 m 1-6 %
 (INN: >2300 m 1-6 %)

Glazialitaet: 0.85-1.15

Repraesentative Stationen

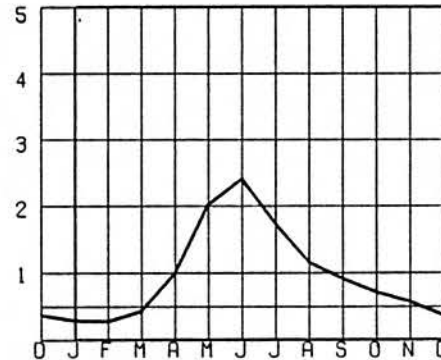
| | |
|-----------------------------|---------|
| Albula, Tiefencastel | 1926-80 |
| Engelberger Aa, Buoren | 1923-80 |
| Engstlenbach, Engstligenalp | 1950-65 |
| Hinterrhein, Andeer | 1923-59 |
| Julia, Tiefencastel | 1919-48 |
| Schaeichen, Buerglen | 1930-66 |
| Tamina, Vaettis | 1959-75 |

Weitere Stationen

| | |
|--------------------------|---------|
| Chamuerabach, Campovasto | 1955-71 |
| Glenner, Peiden Bad | 1945-54 |
| Ova d. Cluozza, Zernez | 1962-80 |
| Spoel, Zernez | 1951-62 |
| Vorderrhein, Disentis | 1943-61 |

JUN - MAI > JUL > AUG

| |
|---------------|
| a-glazial |
| b-glazial |
| a-glazionival |
| b-glazionival |
| nivoglazial |
| nival |

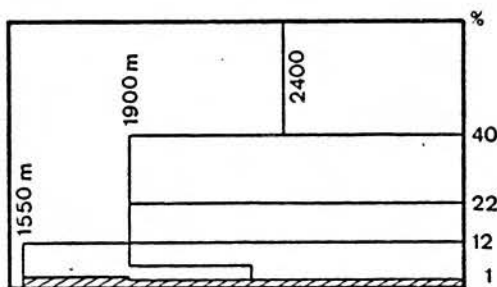


PLES3180 BEOB.-DAUER: 50 JAHRE



| Monat | Streubereich des A-Koeff. | Mittlere Var-Koeff. | Mitt.Genauigkeit bei N=22 |
|-------|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| JAN | 0.20-0.35 | 0.36 | 15 % |
| FEB | 0.25-0.41 | 0.39 | 16 % |
| MRZ | 0.38-0.60 | 0.32 | 13 % |
| APR | 0.99-1.23 | 0.34 | 14 % |
| MAI | 1.88-2.60 | 0.22 | 15 % |
| JUN | 2.04-2.59 | 0.20 | 10 % |
| JUL | 1.40-1.94 | 0.24 | 10 % |
| AUG | 1.07-1.47 | 0.23 | 10 % |
| SEP | 0.72-1.05 | 0.36 | 15 % |
| OKT | 0.53-0.72 | 0.44 | 18 % |
| NOV | 0.45-0.63 | 0.56 | 23 % |
| DEZ | 0.27-0.49 | 0.44 | 18 % |

Notwendige Beobachtungszeit: 22 Jahre
 Abflusssumme Mai-September: 70.0 %



Mittlere Hoehe: Vergletscherung:

1550 - 1900 m 0-3 %
 ab 1900 m 0-1 %
 (INN: >2300 m 0-1 %)

Glazialitaet: 0.50-0.80

Repraesentative Stationen

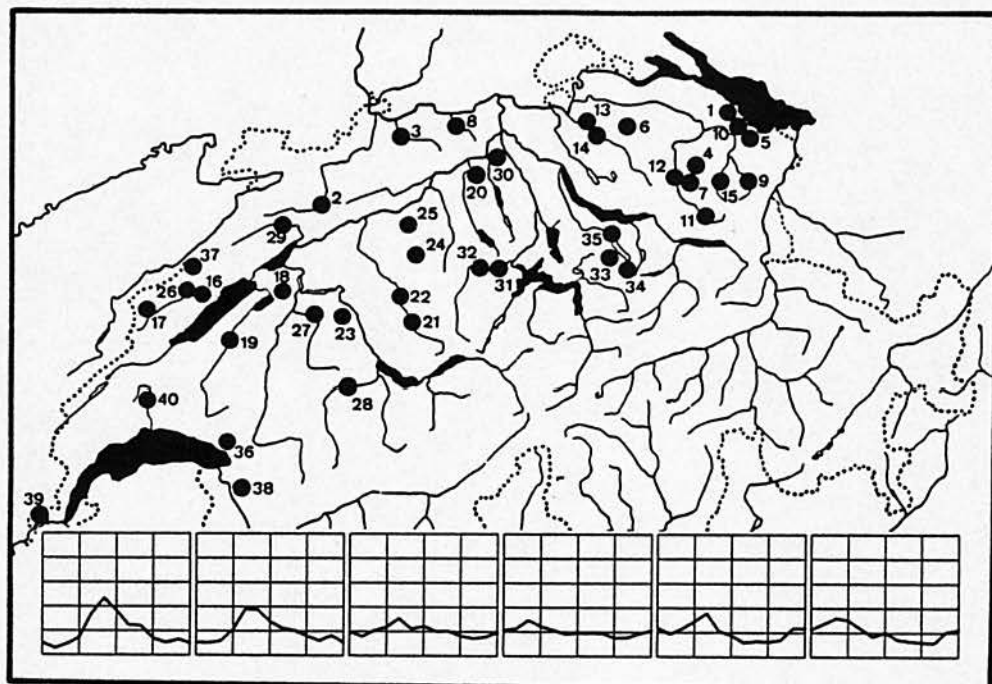
Allenbach, Adelboden 1950-80
 Filderich, Riedli 1954-81
 Grosstalbach, Isenthal 1957-80
 Muota, Ingenbohl 1923-80
 Plessur, Chur 1931-80

Weitere Stationen

Seez, Mels 1931-80

Teil II

MITTELLÄNDISCHE UND JURASSISCHE ABFLUSSREGIMES



INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|----------|
| M 1. EINLEITUNG | M-1 |
| M 1.1. Bisherige Untersuchungen | M-1 |
| M 1.2. Allgemeine Problematik des Untersuchungsraumes | M-6 |
| M 1.2.1. Zeitliche Repraesentativitaet der mittleren Regimekurve | M-7 |
| M 1.2.2. Raeumliche Repraesentativitaet der mittleren Regimekurve | M-11 |
| M 2. DATENLAGE | M-15 |
| M 2.1. Auswahlkriterien fuer repraesentative Stationen | M-15 |
| M 2.1.1. Konsistenz und Homogenitaet | M-15 |
| M 2.1.2. Notwendige Beobachtungszeit | M-15 |
| M 2.1.3. Autochthone Einzugsgebiete | M-18 |
| M 2.1.4. Modifikation der Regimes durch Seen | M-18 |
| M 2.2. Repraesentative Stationen | M-18 |
| M 2.3. Datenstruktur | M-18 |
| M 2.3.1. Median und Mittelwert | M-20 |
| M 2.3.2. Korrelationen benachbarter Monatsabfluesse | M-22 |
| M 2.3.3. Korrelationen Monatsabfluesse - Jahresabfluss | M-26 |
| M 3. TYPISIERUNG DER ABFLUSSREGIMES DES UNTERSUCHUNGSRAUMES | M-27 |
| M 3.1. Typisierungsansaeetze ausgehend von Einzeljahren | M-28 |
| M 3.2. Typisierung der Mittelwertskurve | M-33 |
| M 3.3. Anwendung der Typisierungskriterien | M-37 |
| M 3.4. Ueberpruefung der Typisierung | M-40 |
| M 4. DIE MITTELLAENDISCHEN UND JURASSISCHEN ABFLUSSREGIMETYPEN | M-41 |
| M 4.1. Das 'régime nival de transition' | M-41 |
| M 4.2. Das 'régime nivo-pluvial préalpin' | M-43 |
| M 4.3. Die 'régimes pluviaux supérieurs et inférieurs' | M-46 |
| M 4.3.1. Das 'régime pluvial supérieur' | M-46 |
| M 4.3.2. Das 'régime pluvial inférieur' | M-48 |
| M 4.4. Die 'régimes jurassiens' | M-52 |
| M 5. RAEUMLICHE UEBERTRAGUNG | M-57 |
| M 5.1. Zielsetzung | M-57 |
| M 5.2. FOURIER - Analyse | M-58 |
| M 5.2.1. Zur FOURIER - Analyse von Abflussregimes | M-58 |
| M 5.2.2. Die Bedeutung der FOURIER - Analyse fuer die Regime-Analyse | M-60 |
| M 5.2.3. FOURIER - Analyse der Abflussregimes der repraesentativen Stationen | M-60 |
| M 5.3. Trendflaechenanalyse zur Schaetzung der mittleren Regimekurve an Stellen ohne Direktmessung | M-65 |
| M 5.3.1. Ansatz | M-65 |
| M 5.3.2. Die Schaetzung der mittleren Regimekurve | M-65 |
| M 5.3.3. Ueberpruefung des Schaetzverfahrens | M-67 |
| M 5.4. Identifikationsanalyse zur raeumlichen Festlegung der Regimetypen | M-71 |
| M 5.4.1. Ansatz ueber die Raumparameter | M-71 |
| M 5.4.2. Ansatz ueber die geschaetzte mittlere Regimekurve | M-73 |
| M 6. BEDEUTUNG UND ANWENDUNG DIESER ARBEIT FUEr DIE ABSCHAEZUNG DER ABFLUESSE AN STELLEN OHNE DIREKTMESSUNG | M-75 |
| ZUSAMMENFASSUNG | M-79 |
| Anhang A. Geschaetzte mittlere Regimekurven | Anh. M-1 |

VERZEICHNIS DER FIGUREN

| | | |
|-----------|---|------|
| Figur 1. | Vergleich Einzeljahr - Periodenmittel im alpinen Raum . . . | M-8 |
| Figur 2. | Vergleich Einzeljahr - Periodenmittel im Mittelland/Jura . . | M-9 |
| Figur 3. | Fluktuationskoeffizient nach KARDOS(1975) | M-10 |
| Figur 4. | Histogramme der Fluktuationskoeffizienten | M-11 |
| Figur 5. | Räumliche Variabilität der Einzeljahre | M-12 |
| Figur 6. | Räumliche Verteilung der Repräsentativstationen | M-20 |
| Figur 7. | Die Abflussstationen im Jura | M-21 |
| Figur 8. | Vergleich Mittelwertskurve - Mediankurve | M-22 |
| Figur 9. | Prozentuale Verteilung des Auftretens von Maximum und Minimum der Einzeljahre | M-29 |
| Figur 10. | Darstellung maximaler und minimaler Deltawerte im Untersu- chungsraum | M-30 |
| Figur 11. | Zusammenhang zwischen mittlerer Einzugsgebietshöhe und ver- schieden Deltawerten | M-31 |
| Figur 12. | Regime und Variationskoeffizienten im Alpenraum | M-32 |
| Figur 13. | Regime und Variationskoeffizienten im Untersuchungsraum . . | M-33 |
| Figur 14. | Räumliche Verteilung der Abflussminima | M-34 |
| Figur 15. | Räumliche Verteilung des maximalen Doppelmonats | M-35 |
| Figur 16. | Variationsbreite ausgewählter Abflussregimes | M-36 |
| Figur 17. | Räumliche Verteilung der Variationsbreiten | M-37 |
| Figur 18. | Entscheidungsbaum fuer die Typisierung der mittellaendischen und jurassischen Gewässer | M-39 |
| Figur 19. | Häufigkeitsverteilung des Auftretens von Maximum und Minimum im Einzeljahr beim 'régime nival de transition' | M-43 |
| Figur 20. | Häufigkeitsverteilung des Auftretens von Maximum und Minimum im Einzeljahr beim 'régime nivo-pluvial préalpin' | M-45 |
| Figur 21. | Häufigkeitsverteilung des Auftretens von Maximum und Minimum im Einzeljahr beim 'régime pluvial supérieur' | M-48 |
| Figur 22. | Häufigkeitsverteilung des Auftretens von Maximum und Minimum im Einzeljahr beim 'régime pluvial inférieur' | M-51 |
| Figur 23. | Häufigkeitsverteilung des Auftretens von Maximum und Minimum bei den 'régimes jurassiens' | M-54 |
| Figur 24. | Die Regimetypen im West-Ost - Hoehendiagramm | M-57 |
| Figur 25. | Beispiel einer FOURIER - Analyse des Abflussregimes - Grande Eau Aigle | M-59 |
| Figur 26. | Approximation durch die FOURIER - Analyse | M-62 |
| Figur 27. | Räume gleicher Amplitude a_1 | M-64 |
| Figur 28. | Approximation der urspruenglichen Werte durch die FOURIER - Analyse und die Trendflaechenanalyse | M-68 |
| Figur 29. | Die räumliche Variabilität der Güte der Schätzung der mittleren Regimekurve | M-69 |
| Figur 30. | Vergleich der geschätzten mittleren Regimekurve mit jener ei- ner kuerzeren Messreihe | M-70 |
| Figur 31. | Ansatz zur räumlichen Festlegung der Typen; Bedeutung dieser Arbeit fuer die Praxis | M-72 |
| Figur 32. | Vergleich zwischen vorgegebenen und geschätzten Regimes . . | M-76 |
| Figur 33. | Die räumliche Verbreitung der Regimetypen | M-81 |

VERZEICHNIS DER TABELLEN

| | | |
|-------------|---|------|
| Tabelle 1. | 'Beurteilung' bisheriger Untersuchungen | M-3 |
| Tabelle 2. | Variationskoeffizienten im Bereich des Hauptmaximums . . . | M-16 |
| Tabelle 3. | Notwendige Beobachtungsdauer | M-17 |
| Tabelle 4. | Genauigkeit der Monatskoeffizienten | M-17 |
| Tabelle 5. | Repraesentative Stationen | M-19 |
| Tabelle 6. | Korrelationen benachbarter Monate | M-23 |
| Tabelle 7. | Korrelationen zw. den Monatsabflüssen und den Jahresab- flüssen | M-25 |
| Tabelle 8. | Charakteristik des 'régime nival de transition' | M-41 |
| Tabelle 9. | Charakteristik des 'régime nivo-pluvial préalpin' | M-44 |
| Tabelle 10. | Charakteristik des 'régime pluvial supérieur' | M-47 |
| Tabelle 11. | Charakteristik des 'régime pluvial inférieur' | M-49 |
| Tabelle 12. | Charakteristik der 'régimes jurassiens' | M-53 |
| Tabelle 13. | Ergebnisse der FOURIER - Analyse der mittleren Abflussregimes der repraesentativen Stationen | M-61 |
| Tabelle 14. | Hydrologische Deviationen der FOURIER-Approximation . . . | M-63 |
| Tabelle 15. | Bestimmtheitsmasse der Trendflaechenberechnung | M-66 |
| Tabelle 16. | Synthetische Abflussregimes | M-67 |
| Tabelle 17. | Ueberpruefung des Schaetzverfahrens | M-67 |

M 1. EINLEITUNG

M 1.1. BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN

Im Teil I, Kap. A 1.1. wurde ein Ueberblick ueber bereits abgeschlossene Arbeiten zu den schweizerischen Regimes gegeben und dabei besonders auf Aspekte des Alpenraums eingetreten. An dieser Stelle wird nun die 'mittellaendisch - jurassische Sicht' im Vordergrund stehen. Alle der im folgenden erwaehten Untersuchungen beschreiben resp. typisieren die mittleren Regimekurven.

GUILCHER(1965) vermittelt in seinem Lehrbuch zur Hydrologie eine weltweite Uebersicht ueber die Abflussregimes. Dabei spricht er auch - in natuerlich stark generalisierter Form - auf unseren Bezugsraum an. Die mittellaendischen und jurassischen Regimes gehoeren demnach zu den "régimes montagnards à influences nivales" (GUILCHER 1965:356-357). Innerhalb dieser Gruppe unterscheidet er nach dem Grad der Nivalitaet einzelne Typen, die sich wie folgt auszeichnen:

- nival pur:
 - 'Juni - Juli - Mai - August' als Abfolge im Bereich maximaler Monatsabfluesse;
 - kein herbstliches sekundaeres Maximum.
- nival de transition:
 - 'Juni - Mai - Juli - August' oder 'Mai - Juni - Juli - August' als Abfolge im Bereich maximaler Monatsabfluesse;
 - pluvial bedingtes sekundaeres Maximum im Herbst.
- nivo-pluvial:
 - Maximum im Mai oder April;
 - Bedeutungszuwachs des herbstlichen sekundaeren Maximums.
- pluvio-nival:
 - Maximum im April oder Maerz;
 - oftmals Verlegung des sekundaeren Maximums auf den Monat Dezember.

Bemerkungen: GUILCHER unterscheidet nicht zwischen autochthonen und allochthonen Regimes (vgl. "M 2.1.3. Autochthone Einzugsgebiete"). Eine moegliche Beeinflussung der Regimes durch Seen beschreibt er allgemein mit dem Adjektiv 'lacustre'. Das Regime 'nival pur' gehoert gemaess unserem Ansatz zu den alpinen Regimes und dort zum nivo-glazialen Typ. Das Regime 'nival de transition' darf als eigentliches Uebergangsregime zwischen den alpinen und den mittellaendischen Regimes angesehen werden: Aus der Sicht der Abfolge im Bereich maximaler Abfluesse ist es eigentlich 'alpin-nival'; das Auftreten des herbstlichen sekundaeren Maximums kennzeichnet es hingegen als "mittellaendisch".

PARDE(1933): Im Teil I, Kap. A 1.1. wird zur Untersuchung von PARDE darauf hingewiesen, dass sich die PARDEschen Typen stark an den wenigen, damals vorhandenen Abflussmessergebnissen orientieren mussten und damit nur beispielhaft und sehr generell beschrieben werden konnten. Seine Richtwerte sind im folgenden zusammengestellt, und zwar auch deshalb, weil sich die anderen Arbeiten mehr oder weniger stark an PARDE orientieren. Trotzdem ist die Vergleichbarkeit dieser Untersuchungen sehr problematisch.

- nival de transition (Beispiel: Saane)

- Maximaler Abflusskoeffizient (AK) im Mai (< 2.0);
- $AK(\text{April}) < AK(\text{Juni})$;
- $AK(\text{April})$ ca. 1.0;
- jaehrliche Schwankungsbreite der Koeffizienten ca. 1 : 3 bis 1 : 5;
- wenig ausgepraegter sekundaerer 'peak' im Herbst.

- nivo-pluvial (Beispiel: Kleine Emme)

- Maximaler Abflusskoeffizient (AK) im Mai;
- $AK(\text{April}) > AK(\text{Juni})$;
- $AK(\text{Maerz})$ ca. 1.0;
- herbstlicher 'peak' ausgepraegter als beim 'nival de transition';
- nivo-pluvial supérieur falls $AK(\text{Mai})$ um ca. 100% groesser als $AK(\text{November})$ oder $AK(\text{Dezember})$;
- nivo-pluvial inférieur falls $AK(\text{Mai})$ um ca. 25% - 50% groesser als $AK(\text{November})$ oder $AK(\text{Dezember})$.

- pluvio-nival jurassien (Beispiel: Doubs, Orbe, Areuse)

- Maximaler Abflusskoeffizient (AK) im April;
- $AK(\text{April})$ um ca. 25% - 50% groesser als $AK(\text{Dezember})$;
- jaehrliche Schwankungsbreite der Abflusskoeffizienten 1 : 2.5 - 1 : 3.5;
- $AK(\text{Minimum})$ im Sommer.

Diese 'Richtwerte' wurden, sofern sie quantifizierbar sind, auf unsere repraesentativen Stationen angewendet (vgl. Tabelle 1, PARDE). Das Resultat befriedigt nicht:

Die Lage des Maximums, welches nach PARDE ausschliesslich in den Monaten April und Mai liegen soll, variiert in weit staerkerem Masse. Die Nicht - Klassifikationen einzelner Stationen im Jura sind vor allem auch darauf zurueckzufuehren, dass hier die Dezemberabfluesse im Vergleich zur nivalen Spitze im April im Mittel hoeher ausfallen als es von PARDE erwartet wurde, dass also hier das pluviale Element noch staerker betont ist. Sonst weist allerdings der Jura die besten Klassifikationsergebnisse auf. Da PARDE kein Regime des tieferen Mittellandes definiert, sind die Ergebnisse der Zuordnung hier entsprechend schlecht.

Im folgenden moechten wir die Klassifikationsversuche auf der Basis unserer repraesentativen Stationen auch bei SCHMIDT(1981) und GRIMM(1968,1) durchfuehren. Dabei steht nicht die Kritik dieser Arbeiten im Vordergrund; vielmehr sollen aus den Ursachen fuer die Nicht - Klassifikationen Konsequenzen fuer unseren Typisierungsansatz abgeleitet werden.

Tabelle 1. 'Beurteilung' bisheriger Untersuchungen: Klassifikation der repräsentativen Stationen gemäss den Richtwerten der Untersuchungen, welche im Text beschrieben sind.

| STATION | PARDE | SCHMIDT 1 | SCHMIDT 2 | GRIMM |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|
| GRAN3556 | NIVAL DE TRANSITION | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | ILLER |
| SIMO2180 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | ILLER |
| SITA2367 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | ILLER |
| TURS6480 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | ILLER |
| MINS6180 | NICHT KLASSIERT | NIVAL DE TRANSITION | NIVAL DE TRANSITION | ILLER |
| SILU2136 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | ILLER |
| KLEW1735 | NIVOPLUVIAL SUPERIEUR | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | GAUJA |
| BAYE3373 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL SUPERIEUR | GAUJA |
| EMEG3174 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL SUPERIEUR | GAUJA |
| KLEM3677 | PLUVIONIVAL JURASSIEN | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | GAUJA |
| ALPT2550 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL SUPERIEUR | NICHT KLASSIERT |
| EMEN2980 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL SUPERIEUR | GAUJA |
| NECK1733 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | GAUJA |
| SENS2676 | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL SUPERIEUR | NIVOPLUVIAL SUPERIEUR | GAUJA |
| URNA6280 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL SUPERIEUR | GAUJA |
| GLAH6180 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | NICHT KLASSIERT |
| GOLD6280 | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | NICHT KLASSIERT |
| STEA6280 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | NICHT KLASSIERT |
| TOEW6582 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | NICHT KLASSIERT |
| BROY2180 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | TOPINO |
| LAHL2480 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | TOPINO |
| TOES2180 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | PLUVIONIVAL | TOPINO |
| AACH6280 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | PLUVIONIVAL | TOPINO |
| BIEK6280 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | TOPINO |
| BUNZ5780 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | TOPINO |
| LANH6680 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | TOPINO |
| MURW5480 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | PLUVIONIVAL | TOPINO |
| WYNA5380 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | PLUVIONIVAL | TOPINO |
| GUER2380 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT |
| VENO4878 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | NICHT KLASSIERT |
| AREC4980 | PLUVIONIVAL JURASSIEN | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | NITRA |
| ARE55980 | PLUVIONIVAL JURASSIEN | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | NITRA |
| LOND1835 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | NICHT KLASSIERT |
| NOIR5979 | PLUVIONIVAL JURASSIEN | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | NITRA |
| SUZE6180 | PLUVIONIVAL JURASSIEN | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | NITRA |
| BTE6480 | PLUVIONIVAL JURASSIEN | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | NITRA |
| BIFM1780 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | NICHT KLASSIERT |
| ERGL3480 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | PLUVIONIVAL | TOPINO |
| SISS5980 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | TOPINO |
| ERGA1733 | NICHT KLASSIERT | NICHT KLASSIERT | NIVOPLUVIAL INFERIEUR | NICHT KLASSIERT |

SCHMIDT(1981) gibt eine recht detaillierte Beschreibung der Regimes des Untersuchungsgebietes. Er unterscheidet in begrifflicher Anlehnung an PARDE(1933) folgende Typen:

— nival de transition

- maximaler Abflusskoeffizient (AK(Maximum)) im Mai; AK(sek. Maximum) im Nov (<1.0);
- AK(Minimum) im Januar ($0.2 < AK < 0.5$);
- jährliche Schwankungsbreite der Koeffizienten 1 : 3 bis 1 : 13;
- Dieses Regime ist bei Flüssen mit mittleren Einzugsgebietshöhen zwischen 1200 und 1500 m_{ueM} zu finden.

— nivo-pluvial supérieur

- AK(Maximum) im April (bei PARDE im Mai); AK(sek. Maximum) im November oder Dezember;
- AK(Minimum) im Januar mit $0.6 < AK(\text{Januar}) < 0.75$

Einleitung

- jaehrliche Schwankungsbreite der Abflusskoeffizienten zwischen 1 : 2 und 1 : 5;
- Fluesse mit mittleren Einzugsgebietshoeen zwischen 1000 und 1200 mueM.

- nivo-pluvial inferieur

- AK(Maximum) im April (bei PARDE im Mai); AK(sek. Maximum) im November oder Dezember (wie 'regime nivo-pluvial superieur');
- AK(Minimum) im Oktober mit $0.6 < AK(\text{Oktober}) < 0.7$; AK(Januar) bis 0.8;
- jaehrliche Schwankungsbreite der Abflusskoeffizienten zwischen 1 : 1.8 und 1 : 2.5;
- Fluesse mit mittleren Einzugsgebietshoeen zwischen 750 und 1000 mueM.

- pluvio-nival

- kleineres Schmelz-Hauptmaximum im Februar/Maerz;
- AK(Minimum) im Oktober mit $0.7 < AK(\text{Oktober}) < 0.85$;
- jaehrliche Schwankungsbreite der Abflusskoeffizienten zwischen 1 : 1.4 und 1 : 2.0;
- Fluesse mit mittleren Einzugsgebietshoeen zwischen 650 und 750 mueM.

Bei SCHMIDT wird die Frage der raeumlichen Uebertragbarkeit der ausgewiesenen Typen mehrmals gestellt und auch beantwortet: Die Typen lassen sich auf Grund der mittleren Einzugsgebietshoe raeumlich festlegen, wobei der Autor in stark verkarsteten Gebieten gewisse Vorbehalte anbringt: Anhand der Venoge und der Birs zeigt er, wie sich der Karst ganz unterschiedlich auf das mittlere Regimeverhalten auswirken kann.

Die Klassifikation der repraesentativen Stationen nach den Richtwerten von SCHMIDT ueberzeugt nicht (vgl. Tabelle 1, SCHMIDT 1): Nur gerade die Minster, die Sense und die Goldach konnten klassiert werden. Daher wurde das Anforderungsprofil an die SCHMIDTschen Typen derart vereinfacht, dass nur noch die Lage des Maximums und des Minimums und in einzelnen Faellen die Lage des sekundaeren Maximums beruecksichtigt wurden.

Mit diesem Ansatz kann der groesste Teil der repraesentativen Stationen klassiert werden (vgl. Tabelle 1, SCHMIDT 2): Im Uebergangsbereich zwischen den alpinen und den mittellaendisch - jurassischen Regimes versagt die Klassifikation allerdings weitgehend (Lage des Maximums). Die mittleren Einzugsgebietshoeen der repraesentativen Stationen mit einem nivo-pluvialen Regime stimmen recht gut mit den von SCHMIDT angegebenen Hoeenbereichen ueberein. Eine Ausnahme bilden in diesem Punkt die Stationen mit einem 'regime nivo-pluvial inferieur' im Jura. Der Jura selbst erscheint als relativ homogenes Kollektiv. In den tieferen Lagen des Mittellandes (mittlere Einzugsgebietshoe < 750 mueM) wird die Zuordnung wiederum problematisch, da das Minimum - nach SCHMIDT im Oktober - groesseren zeitlichen Schwankungen unterliegt.

Fazit

1. Mit der zeitlichen Lage des Maximums und des Minimums scheinen guenstige Typisierungsmerkmale der mittleren Regimekurve vorhanden zu sein, die - noch etwas differenzierter betrachtet - zu einer tauglichen Typisierung fuehren duerften, zumal sie auch in kausaler Beziehung zur mittleren Einzugsgebietshoe zu stehen scheinen.
2. Andererseits ist die Individualitaet der einzelnen Fluesse bedeutend groesser als im alpinen Raum, so dass es hier weit schwieriger ist, ausserhalb der Lageparameter des Maximums und des Minimums allgemeinguelte, das mittlere Regime betreffende Angaben zu machen. Das Scheitern der

PARDEschen und SCHMITDschen (SCHMIDT 1) Richtwerte in Tabelle 1 verdeutlicht dies.

Dieses 'Fazit' wird durch den Ansatz von GRIMM(1968,1) bestaetigt: Die Regimetypen nach GRIMM basieren auf der Lage des Maximums und des Minimums. Im Bereich des Minimums ist die Frage entscheidend, ob das Minimum im Sommer- oder Winterhalbjahr liegt. Die Lage des Maximums und des sekundaeren Maximums beschreibt GRIMM mit Doppelmonaten (Jan/Feb, Feb/Mrz, ... Dez/Jan). Die auf dieser Basis erzielten Resultate ueberzeugen (vgl. GRIMM 1968,1: Anhang mit Karte der mitteleuropaeischen Regimetypen im Massstab 1 : 5 Mio.). Es ist GRIMM gelungen, mit relativ einfachen Kriterien ein recht detailliertes Bild ueber die mittleren Abflussverhaeltnisse zu gewinnen und dies, obwohl die Lageparameter des Maximums und vor allem des Minimums zeitlich relativ unpraezis gefasst sind (Doppelmonat bzw. Halbjahr).

GRIMM waehlt die Bezeichnung seiner Regimes aufgrund von europaeischen Typfluessen. In unserem Untersuchungsgebiet weist er die folgenden, raeumlich mehr oder weniger parallel zum Alpenkamm angeordneten Regimetypen aus:

— ILLER-Regime (Alpenrand)

- gehoert zu den nivo-pluvialen Regimes;
- Maximum im Mai/Juni;
- AK(Maximum) zwischen 1.6 und 2.4;
- mittlere Abflusssspende 10 - 60 l/sec*km², meist > 20 l/sec*km²;
- Abflussminimum im Winterhalbjahr;
- Ursachen: "Maximum durch Schneeschmelze bedingt, kombiniert mit Regenfaellen, Abfluss der uebrigen Jahreszeiten nur durch Regen bedingt, Minima durch winterliche Retention" (GRIMM 1968,1: Anhang).

— GAUJA-Regime

- gehoert ebenfalls zu den nivo-pluvialen Regimes;
- Maximum im April/Mai;
- sekundaeres Maximum im Herbst (Sep/Okt od. Okt/Nov od. Nov/Dez);
- AK(Maximum) zwischen 1.5 und 2.5;
- mittlere Abflusssspende 7 - 35 l/sec*km², meist > 20 l/sec*km²;
- Abflussminimum im Winterhalbjahr;
- Ursachen: "Hauptmaximum vorwiegend durch Schneeschmelze bedingt, oft in Kombination mit Regenfaellen, Nebenmaximum durch Regenfaelle verursacht, Minima durch winterliche Retention" (GRIMM 1968,1: Anhang).

— TOPINO-Regime

- gehoert zu den xeropluvialen Regimes;
- Maximum im Feb/Mrz;
- AK(Maximum) zwischen 1.4 und 2.0;
- mittlere Abflusssspende 4 - 30 l/sec*km², meist < 20 l/sec*km²;
- Abflussminimum im Sommerhalbjahr; geringe Austrocknung;
- Ursachen: "Regenspeisung dominiert, Niedrigwasser im Sommer infolge hoher Verdunstung, z.T. in Kombination mit sommerlicher Regenarmut" (GRIMM 1968,1: Anhang). Die sommerliche Regenarmut trifft fuer den Untersuchungsraum allerdings nicht zu.

— NITRA-Regime (Jura)

- gehoert zu den nivo-pluvialen Regimes;
- Maximum im Maerz/April;
- sekundaeres Maximum im Herbst (Sep/Okt od. Okt/Nov od. Nov/Dez);
- AK(Maximum) zwischen 1.5 und 2.3;

- mittlere Abflussspende 3 - 17 l/sec*km²;
- Abflussminimum im Sommerhalbjahr; geringe Austrocknung;
- Ursachen: "Hauptmaximum vorwiegend durch Schneeschmelze bedingt, oft in Kombination mit Regenfaellen, Nebenmaximum durch Regenfaelle verursacht, Minima durch hohe Verdunstung im Sommer" (GRIMM 1968,1: Anhang).

GUILCHER, PARDE, SCHMIDT und GRIMM stuetzen sich alle auf die mittlere Regimekurve ab. Auf die Frage der Repraesentativitaet der mittleren Regimekurve treten sie nicht oder nur ganz am Rande ein. So schreibt PARDE(1933:98) zum 'regime nival de transition':

"Mais tandis que l'intumescence de fusion revient toutes les années, la poussée secondaire d'automne est très capricieuse. Parfois elle manque, parfois elle s'érige avec arrogance et les mois où elle culmine varient. Plus la période d'observation est longue et plus cet accident tend à s'annuler dans les moyennes."

In der Beschreibung der oesterreichischen Abflussregimes weist KRESSER-(1961:417) auf die Bedeutung der mittleren zeitlichen Verteilung des Abflusses (mittlere Regimekurve) zur Kennzeichnung des allgemeinen hydrologischen Charakters eines Gewaessers hin: So findet GRIMM(1968,1) beispielsweise Zusammenhaenge zwischen Regimetypen und Abflussspenden.

Die Bedeutung der mittleren Regimekurve in bezug auf das hydrologische Verhalten wird in dieser Arbeit noch zu besprechen sein (vgl. "M 1.2.2. Raeumliche Repraesentativitaet der mittleren Regimekurve")

Insgesamt vermitteln die bisherigen Untersuchungen einen guten, allerdings auch sehr heterogenen Einblick in die Problematik des Untersuchungsgebietes. Ziel der vorliegenden Untersuchung muss es sein, diese Basis auszubauen und vor allem fuer die praktische Anwendung - 'Abschaetzung der Abfluesse an Stellen ohne Direktmessung' - zu konkretisieren.

M 1.2. ALLGEMEINE PROBLEMATIK DES UNTERSUCHUNGSRUAUMES

Wie die vorhin diskutierten Arbeiten gezeigt haben, sind langjaehrige Mittelwerte Ausgangspunkt bei der Regimetypisierung. Zusaetzlich bilden die Abweichungen der Einzelwerte von ihren langjaehrigen Mittelwerten ein weiteres Merkmal. Die Beschaeftigung mit den Abfluessen aus mittellaendischen und jurassischen Einzugsgebieten hat gezeigt, dass ein starkes Abweichen der Einzeljahre vom Periodenmittel eine Besonderheit dieses Untersuchungsraumes darstellt. Die Frage der Repraesentativitaet der langjaehrigen Mittelwerte ist somit gestellt. Diesem Problem begegnete auch SEIFRIED(1971:4) bei der Regimetypisierung der kanadischen Fluesse:

"Mittlere und extreme Minima und Maxima der Wasserfuehrung geben zwar Auskunft ueber die Schwankungsbreite der Wasserfuehrung, die Streuung der Einzelwerte um ihre Mittelwerte ist jedoch ein so bestimmendes Merkmal, welches auch von den Extremen nur ungenau erfasst wird, dass vor einer Untersuchung der unterschiedlichen Mittelwerte eben diese Mittelwerte in ihrer Repraesentativitaet untersucht werden sollen."

Die Typisierungskriterien, die im alpinen Raum zur Anwendung gelangten (vgl. Teil I, Kap. A 3.3.), orientierten sich an Mittelwertsvergleichen. Diese Kriterien liessen sich insofern problemlos anwenden, als dort die Mittelwerte - bedingt durch die kleinen Variabilitaeten - sehr aussagekraeftig sind und bereits bei kuerzeren Messreihen im statistischen Sinn sehr genau vorliegen. Dies

trifft fuer Mittelland und Jura nicht zu. Die allgemeine Problematik des Untersuchungsgebietes laesst es also darueber hinaus fraglich erscheinen, ob die im Alpenraum erprobte und erfolgreiche Typisierungsmethode auch im Mittelland und im Jura angewendet werden kann.

Im folgenden soll nun etwas detaillierter auf diese allgemeine Problematik eingegangen und auf die Konsequenzen fuer die Typisierung der Abflussregimes des Mittellandes und des Jura hingewiesen werden.

M 1.2.1. Zeitliche Repraesentativitaet der mittleren Regimekurve

Die unterschiedliche Repraesentativitaet der mittleren Regimes im Alpenraum und im Mittelland/Jura laesst sich am besten durch einen graphischen Vergleich der Mittelwertskurve mit den Kurven der Einzeljahre darstellen. Wir waehlen dazu die Jahre 1967-1974, die nach den "Hydrologischen (Hydrographischen) Jahrbuechern" (LANDESHYDROLOGIE) in ihrem hydrographischen Verhalten wie folgt beschrieben werden:

| | |
|-----------|--|
| 1971,1972 | sehr trocken, Jahresabfluss 75-80 % des langjaehrigen Mittelwertes |
| 1969,1973 | leicht trocken, Jahresabfluss 90 % des langjaehrigen Mittelwertes |
| 1967,1974 | Normaljahre, Jahresabfluss 95-105 % des langjaehrigen Mittelwertes |
| 1968 | leicht feucht, Jahresabfluss 110 % des langjaehrigen Mittelwertes |
| 1970 | nass, Jahresabfluss 120 % des langjaehrigen Mittelwertes |

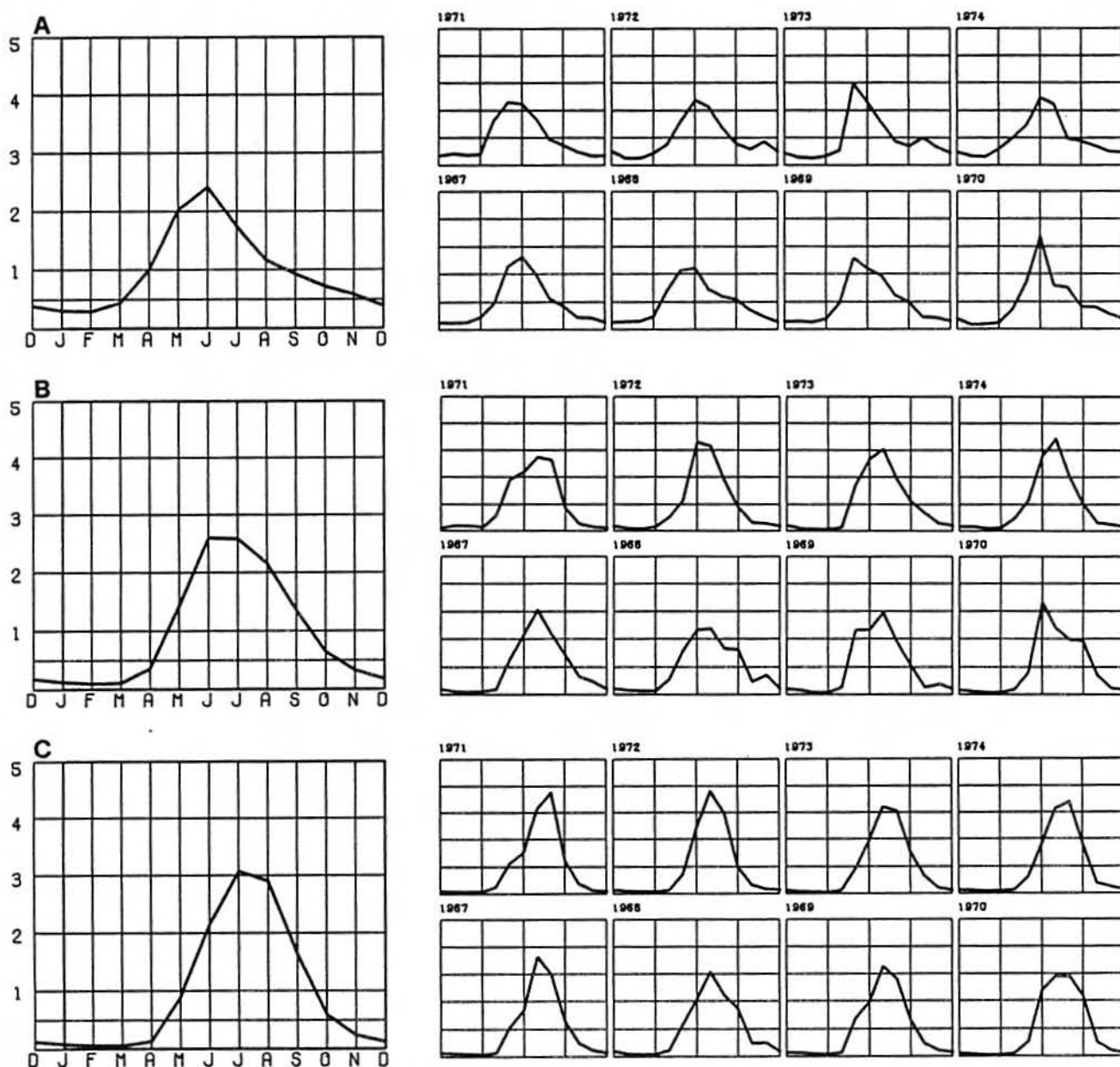
Figur 1 zeigt diesen Vergleich fuer einige Regimetypen aus dem alpinen Raum.

Dabei laesst sich folgendes feststellen: Die Uebereinstimmung von Einzeljahren und Periodenmittel ist bei den glazialen und glazionivalen Regimetypen erstaunlich. Das Auftreten der Maxima ist auf zwei Monate beschraenkt; ihre Koeffizienten schwanken nur wenig. Sekundaere Maxima in den Herbstmonaten sind selten. Im Regimeverlauf sind keine auffaelligen Unterschiede zwischen Nass- und Trockenjahren zu erkennen.

Auch bei den nivoglazialen und nivalen Regimetypen ist die Uebereinstimmung immer noch befriedigend, obwohl die maximalen Abflusskoeffizienten staerker schwanken und sekundaere Maxima haeufiger auftreten. Schmelzprozesse in den Monaten Mai und Juni sind nach wie vor das dominante Steuerelement.

Die Abflussregimes des Mittellandes (vgl. Figur 2) zeichnen sich dadurch aus, dass sie im Einzeljahr bis zu drei oder vier Maxima aufweisen, obwohl im langjaehrigen Mittel nur ein Hauptmaximum im Fruehjahr und ein Nebenmaximum in den Herbstmonaten zu erkennen sind. Neben den groesseren Schwankungen der maximalen Koeffizienten variiert auch das zeitliche Auftreten des Hauptmaximums beträchtlich. Zusaetzlich zur Schneeschmelze bildet sich der Niederschlag als weiteres Steuerelement aus. Die Abfluesse aus den tiefer gelegenen Einzugsgebieten des Mittellandes zeigen ein krasses Missverhaeltnis zwischen Periodenmittel und Einzeljahr (vgl. Figur 2: Toess, Neftenbach): Die hohe zeitliche Variabilitaet der Maximalabfluesse bedingt durch das Nebeneinander mehrerer Steuerfaktoren, insbesondere Schneeschmelze und Niederschlag, fuehrt zu einem ausgeglichenen mittleren Regimeverlauf; das einzelne Jahr weicht von diesem aber stark ab.

Eine etwas bessere Uebereinstimmung zwischen dem Einzeljahr und dem Periodenmittel zeigen die Abflussregimes von jurassischen Einzugsgebieten. Der mittlere Abflusscharakter mit dem Hauptmaximum im Fruehjahr (Schneeschmelze), dem Hauptminimum im Sommer (Verdunstung) und dem Nebenmaximum im Herbst (Niederschlag) bleibt i.allg. auch im Einzeljahr erhalten.

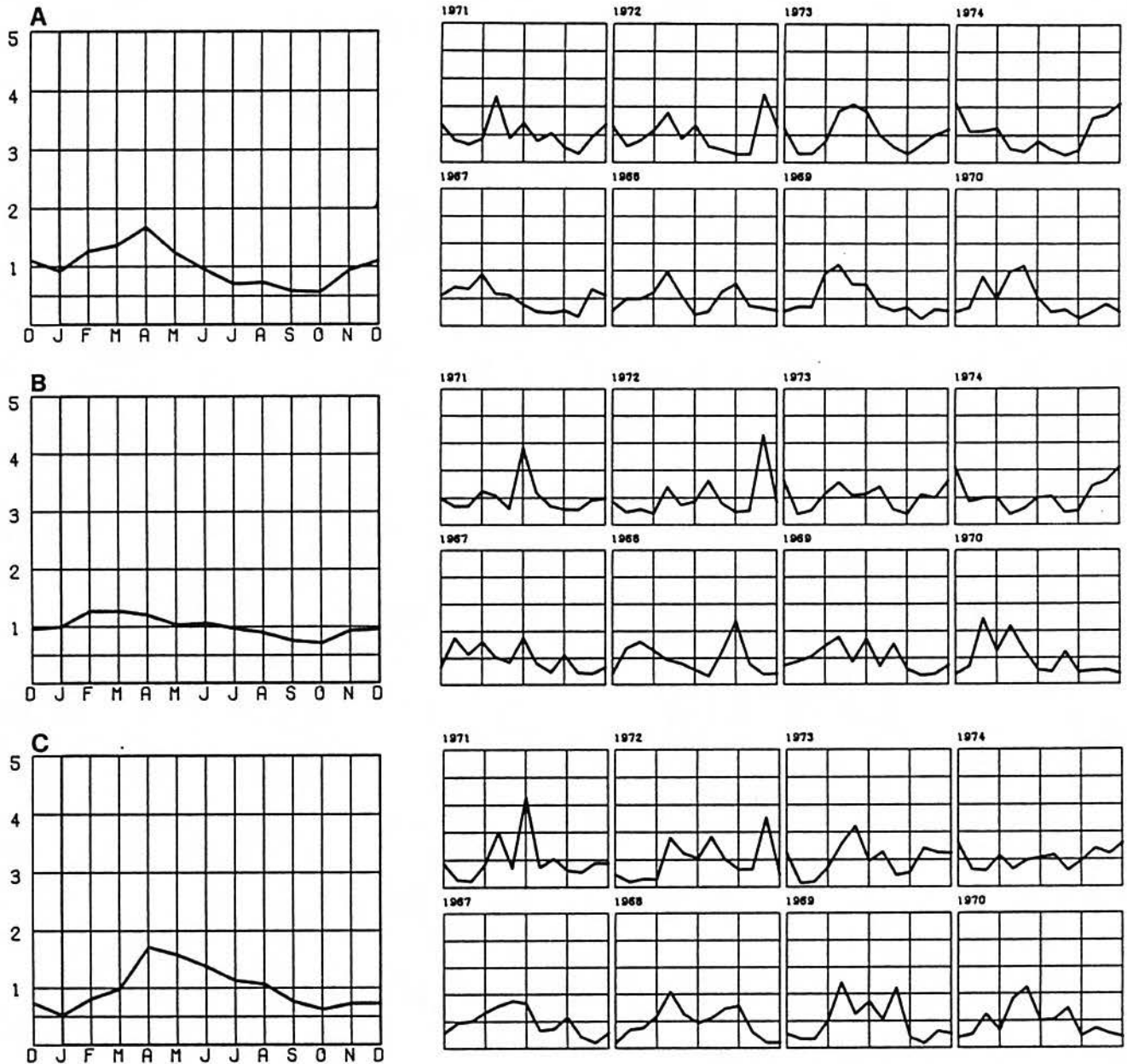


Figur 1. Vergleich Einzeljahr - Periodenmittel im alpinen Raum:

| | | |
|----------------|--------------------------|---------|
| A nival: | Plessur, Chur | 1931-80 |
| B glazionival: | Hinterrhein, Hinterrhein | 1945-80 |
| C glazial: | Rosegbach, Pontresina | 1960-80 |

Auch bei den Abflüssen aus mittellaendischen und jurassischen Einzugsgebieten sind im Regimeverlauf weder Trocken- noch Nassjahre zu erkennen. Vermehrt noch als im Alpenraum ist die allgemeine hydrographische Charakterisierung des Jahres mit "nass" oder "trocken" bereits zu stark generalisiert: in Gebieten, wo der Niederschlag ebenfalls ein wichtiges Steuerelement darstellt, muessen die einzelnen Monate getrennt in ihrem hydrographischen Charakter betrachtet werden.

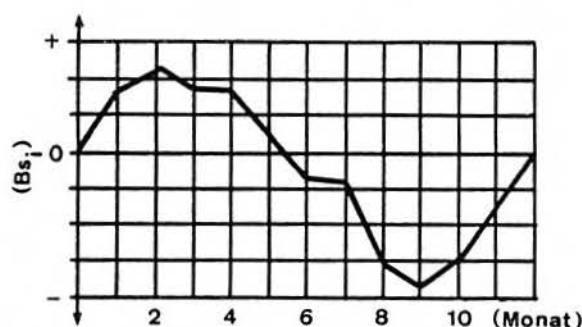
Die fuer Mittelland und Jura charakteristische und im Vergleich zum Alpenraum schlechte Repraesentativitaet der mittleren Regimekurve wird auch durch den Fluktuationskoeffizienten (Beta) nach KARDOS(1975:125f) erfasst.



Figur 2. Vergleich Einzeljahr - Periodenmittel im Mittelland/Jura:

- | | | | |
|---|------------|-------------------|---------|
| A | Jura | Suze, Sonceboz | 1961-80 |
| B | Mittelland | Toess, Neftenbach | 1931-80 |
| C | Voralpen | Urnaesch, Hundwil | 1962-80 |

Dieser Koeffizient ist ein Mass fuer die Verteilung des Jahresabflusses auf die verschiedenen Monate und charakterisiert allenfalls auftretenden Schwankungen im Jahresgang. Seine Berechnung erfolgt nach Formel (1.1) und gemass Figur 3 ueber die kumulierten Abweichungen der Monatsmittel vom Jahresmittel.



Figur 3. Fluktuationskoeffizient nach KARDOS(1975): Je groesser die Amplitude und die Schwingungsdauer der Ganglinie der monatliche Abfluesse eines Einzeljahres ist, desto groesser wird Beta.

$$(1.1) \quad \text{Beta}_i = \frac{\max.Bs_i - \min.Bs_i}{12 \cdot MQ_i}, \quad \text{wobei} \quad Bs_i = \sum_j (Q_{ij} - MQ_i)$$

i: Laufindex fuer Beobachtungsjahre (i=1...n)

j: Laufindex fuer Monate (j=1...12)

Die Fluktuationskoeffizienten wurden fuer die alpinen Regimetypen und fuer die Abfluesse aus Einzugsgebieten der Voralpen, des Mittellandes und des Juras berechnet. Fuer die Interpretation der Resultate und der Histogramme in Figur 4 stehen folgende Groessen zur Verfuegung:

Beta(Jahr) Fluktuationskoeffizient des Einzeljahres;

Beta(Periode) mittlerer Fluktuationskoeffizient der Beobachtungsperiode einer Station;

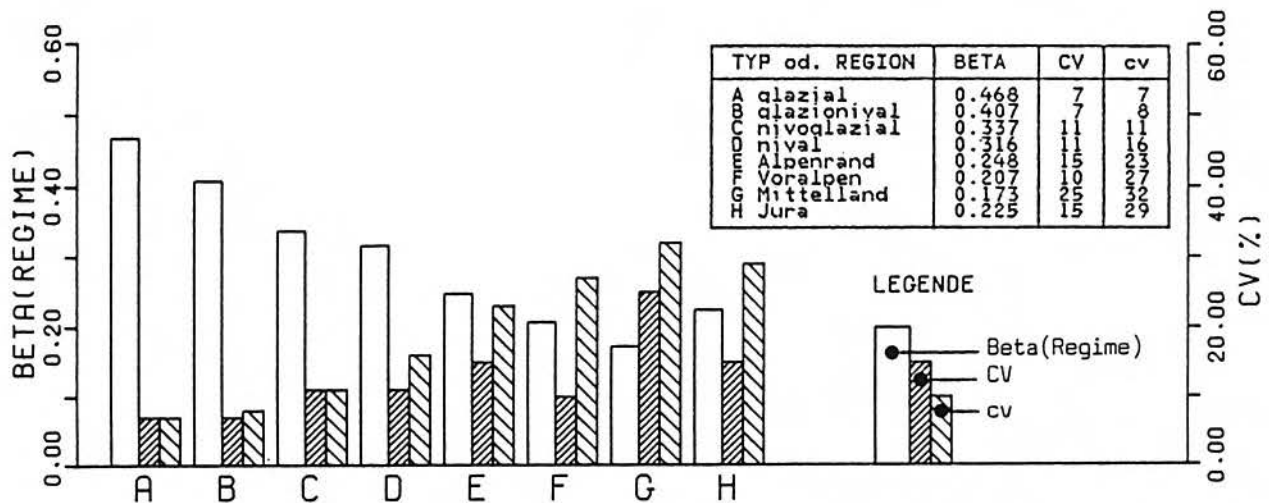
Beta(Regime) gemittelt ueber alle Stationen eines Regimetyps aus den Beta(Periode);

CV Variationskoeffizient der Beta(Periode) um den Wert Beta(Regime): Beurteilung der Homogenitaet des Regimetyps;

cv Variationskoeffizient (gemittelt ueber alle Stationen eines Regimetyps) der Beta(Jahr) um den Wert Beta(Periode): Beurteilung der Verschiedenheit der Einzeljahre eines Regimetyps.

Die Resultate koennen wie folgt kurz zusammengefasst werden:

- Die Fluktuationskoeffizienten Beta(Regime) nehmen mit der Hoehe ab: Alpine Einzugsgebiete zeichnen sich durch einen ausgepraegten Jahresgang aus. Die Werte der jurassischen Gewaesser entsprechen denjenigen der Voralpen. Einzugsgebiete im Mittelland weisen einen ausgeglichenen Jahresgang auf.
- Die Verschiedenheit der Einzeljahre (ausgedrueckt durch die Schwankungen der Einzeljahre um das Periodenmittel: cv) nimmt mit der Entfernung vom Alpenraum zu.



Figur 4. Histogramme der Fluktuationskoeffizienten: Zur Berechnung vgl. Figur 3.

- Der Grad der Verwandtschaft der Stationen eines Regimetyps nimmt mit zunehmender Hoehe zu: der glaziale wie der glazionivale Regimetyp sind sehr homogen (CV nur 8%); die vorwiegend nival gepraeagten Regimes der Alpen, der Voralpen und des Jura nehmen eine Mittelstellung ein. Die Stationen des Mittellandes unterscheiden sich staerker.

Zusammenfassung

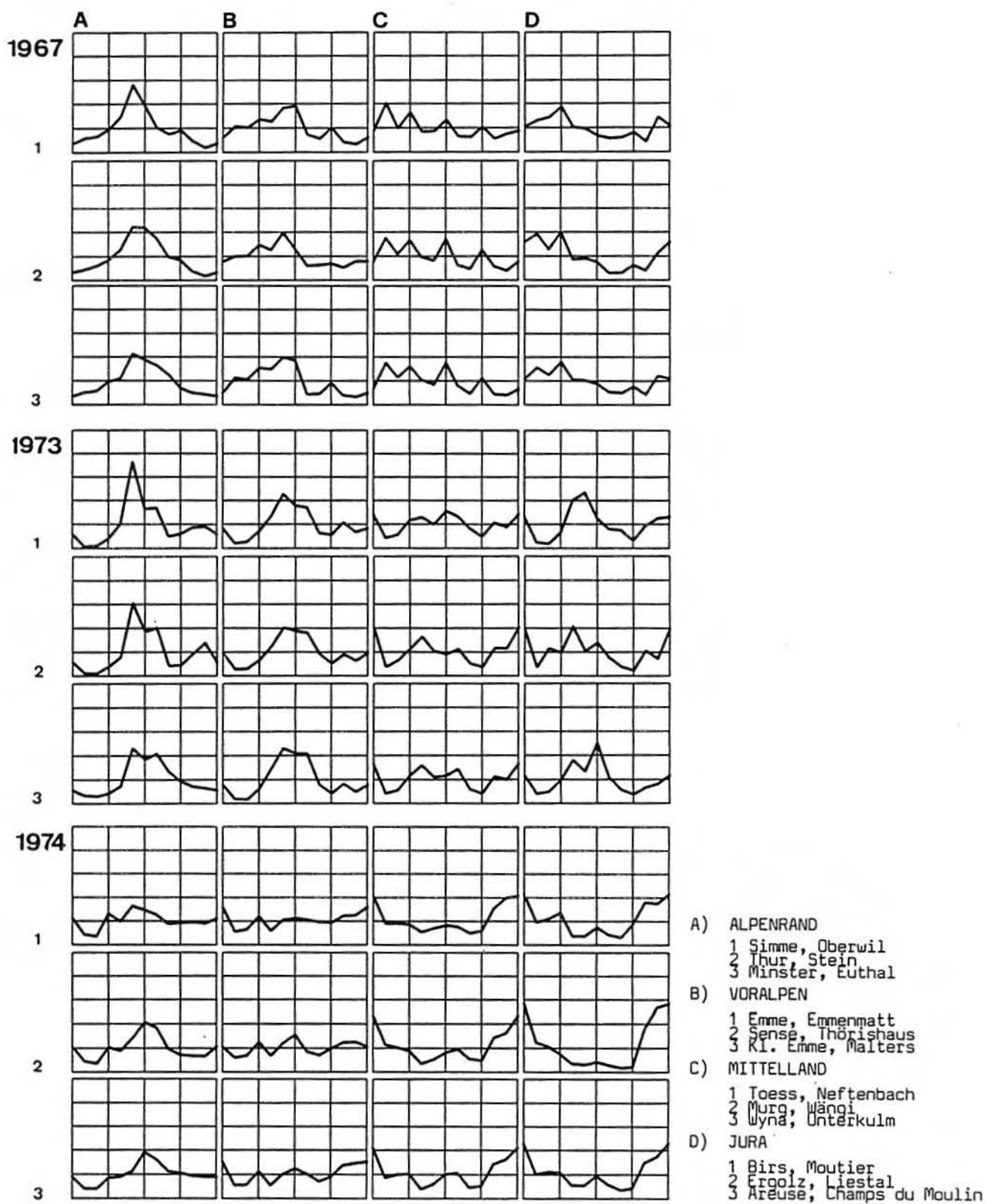
Mittellaendische und jurassische Regimes zeichnen sich durch einen unausgegliehenen Jahresgang aus. Die Einzeljahre unterscheiden sich je nach Regimetyp stark und zeigen eine grosse Abweichung vom Periodenmittel.

Die hauptsaechlichsten Gruende fuer die schlechte Repraesentativitaet der Mittelwerte sind darin zu sehen, dass diese komplexen Regimes mehreren, zeitlich unterschiedlich wirkenden Steuerfaktoren unterliegen. Der Schneeschmelze, die je nach Schneeruecklage und Temperaturverlauf frueher oder spaeter, kurz oder lang ausfallen kann, steht mit dem Niederschlag ein im Einzeljahr gleichwertiges oder sogar dominierendes Steuerelement gegenueber. Daneben erhalten auch hydrogeologische Speichermechanismen (Auffuellung und Entleerung) eine weit groessere Bedeutung als im Alpenraum.

Die schlechte Repraesentativitaet der Mittelwerte zeigt auch, dass es irrefuehrend sein kann, kausale Zusammenhaenge zwischen Raumfaktoren und langjaehrigen Mittelwerten auszuweisen. Viel zu schnell werden i.allg. Abflussregimes mit kleinen Schwankungen um das Jahresmittel, wie z.B. die Toess in Neftenbach in Figur 2, als Retentionsregime klassiert, ohne dass man sich Rechenschaft darueber abgibt, wie das Abflussverhalten des Einzeljahres aussieht. Erst dann kann entschieden werden, ob es sich um ein echtes Retentionsregime handelt, oder ob der ausgeglichene Regimeverlauf durch eine grosse zeitliche Variabilitaet des Abflussmaximums und der Nebenmaxima zustande kommt.

M 1.2.2. Raeumliche Repraesentativitaet der mittleren Regimekurve

Nach den bisherigen Ausfuehrungen stellt sich die Frage, ob es ueberhaupt sinnvoll ist, eine Typisierung der mittellaendischen und jurassischen Abflussregimes aufgrund der Mittelwertskurve vorzunehmen.



Figur 5. Räumliche Variabilität der Einzeljahre: Die Regimes innerhalb einer Region gleichen sich stark; sie unterscheiden sich aber deutlich von denen anderer Regionen.

In der landschaftsoekologischen und hydrologischen Literatur wird immer wieder auf die Bedeutung des Abflussregimes als integraler, leicht erfassbarer Faktor zur Kennzeichnung des Wasserhaushaltes eines Gebietes hingewiesen: "Es ist mit Hilfe des Wasserhaushaltes und des Abflussregimes moeglich, den Geofaktorenkomplex der Naturlandschaft naeher zu erkennen, da der Wasserhaushalt mit fast allen Geofaktoren gesetzesmaessig verbunden ist" (HERRMANN R. 1965:8). Mit einer auf Abflussregimetypen basierenden hydrologischen Raumgliederung werden demnach wesentliche Grundzuege des Wasserhaushaltes erfasst (vgl. auch ASCHWANDEN, LEIBUNDGUT und WEINGARTNER (1984) und KRESSER (1961)).

Wenn wir deshalb in Figur 5 die Abfluesse einiger Flussgebiete in ausgewaehlten Einzeljahren betrachten, laesst sich unschwer folgendes erkennen:

1. Die Einzeljahre unterscheiden sich nicht nur untereinander; es existieren auch markante Unterschiede zwischen den Regionen Alpenrand, Voralpen, Mittelland und Jura.
2. Diese regionale Differenzierung tritt in allen Einzeljahren auf.

Somit erhaelt die Mittelwertskurve eine neue Bedeutung: obwohl sie das Abflussgeschehen im Einzeljahr schlecht repraesentiert, bleibt in ihrer Form die raeumliche Variabilitaet erhalten, da Abfluesse aus Flussgebieten mit aehnlichem Abflussverhalten im Einzeljahr, gemittelt ueber eine Periode, zu aehnlichen Mittelwertskurven fuehren.

Aus diesem Grunde laesst sich die anfangs dieses Kapitels gestellte Frage bejahen: eine Typisierung aufgrund der Mittelwerte ist sinnvoll, da innerhalb einer Region die Einzeljahre ein sehr aehnliches Abflussverhalten zeigen, und die Mittelwertskurve, so interpretiert, das raeumliche Verteilungsmuster beschreibt.

Damit werden mit einer Typisierung, die auf den Mittelwertskurven basiert, im mittellaendischen und jurassischen Raum Flussgebiete mit gleichem Abflussverhalten im Einzeljahr zu Regionen zusammengefasst. Anders als im alpinen Raum wird es aber schwieriger, wenn nicht gar unmoeglich sein, vom mittleren Verhalten auf das Verhalten im Einzeljahr zu schliessen. Als weitere Konsequenz ergibt sich die Tatsache, dass das im alpinen Raum angewandte Typisierungsverfahren in der gleichen Art nicht angewendet werden kann.

M 2. DATENLAGE

M 2.1. AUSWAHLKRITERIEN FÜR REPRESENTATIVE STATIONEN

Nach den Ausführungen in Teil I, Kap. A 3.1.4. wird eine Abflussstation dann als repräsentativ bezeichnet, falls die dazugehörige Messreihe und das entsprechende Flussgebiet folgende Voraussetzungen erfüllen:

1. Abflussmessreihe konsistent und homogen;
2. Abfluss anthropogen unbeeinflusst;
3. eine empirisch festgelegte notwendige Beobachtungszeit wird erreicht oder überschritten;
4. Flussgebiet autochthon.

Stationen und ihre Messreihen, die diese Anforderungen erfüllen, können zur Typisierung von Abflussregimes verwendet werden. Die obgenannten Kriterien wurden für eine Regimetypisierung im alpinen Raum entwickelt und bedürfen für eine Anwendung im Mittelland und im Jura ein paar Anpassungen:

M 2.1.1. Konsistenz und Homogenität

Die Daten stammen fast ausschliesslich aus dem Messnetz der Landeshydrologie. Nach EMMENEGGER und SPREAFICO (1979:215) ist die Konsistenz der in den "Hydrologischen (Hydrographischen) Jahrbüchern" (LANDESHYDROLOGIE) veröffentlichten Daten gesichert.

Da im Mittelland Langzeitspeicher zur Gewinnung von hydroelektrischer Energie weitgehend fehlen, bildet die Homogenität der Daten ein weit kleineres Problem als im alpinen Raum. Sie wurde mit statistischen Tests nachgewiesen (vgl. Teil I, Tabelle 4).

Die anthropogene Beeinflussung beschränkt sich im mittellaendischen Raum auf Laufkraftwerke sowie auf die Entnahme von Trink- und Brauchwasser. Diese Eingriffe wirken sich auf die monatlichen Abflüsse nicht aus; die Speicherwirkung ist auf wenige Stunden beschränkt. Entscheidender sind Massnahmen zur Seeregulierung. Allerdings sind in den meisten Fällen (z.B. Vierwaldstättersee, Thunersee, Jurarandseen) die dazugehörigen Einzugsgebiete nicht mehr autochthon ($>500 \text{ km}^2$), so dass sie bei der Typisierung ohnehin ausser Betracht fallen.

M 2.1.2. Notwendige Beobachtungszeit

Gestützt auf die Erfahrungen im Alpenraum und auf die Ergebnisse der früheren Untersuchungen sowie bestätigt durch den visuellen Vergleich der mittleren Regimekurven des Untersuchungsgebietes lässt sich feststellen, dass auch bei den mehrgipfligen Regimes die Lage und das Ausmass des Hauptmaximums in irgendeiner Form den eigentlichen Differenzierungsbereich darstellt, den es bei einer Typisierung zu berücksichtigen gilt. Somit kann nach der Methode zur Bestimmung der notwendigen Beobachtungszeit, die im alpinen Raum zur Anwendung gelangte, vorgegangen werden. Sie ist ausführlich in Teil I, Kap. A 3 beschrieben.

2. Datenlage

Die Voraussetzung der Normalverteilung der Abflusskoeffizienten zur Berechnung der notwendigen Beobachtungsdauer (statistisch: Schätzung des Stichprobenumfangs normalverteilter Zufallsvariablen) ist etwas weniger gut erfüllt als im Alpenraum:

- Die Monatskoeffizienten sind zu rund 62 % normalverteilt; der Rest weist eine leicht positive Schiefe auf (PEARSON-Verteilung) (vgl. dazu "M 2.3.1. Median und Mittelwert");
- 82 % der PEARSON-verteilten Monatskoeffizienten koennen nach ROSENBERG(1979:21) mit kleinem Fehler durch die Normalverteilung approximiert werden, da sie die Bedingung erfullen:

$$n > 50 \times cv^2 \quad \text{wobei} \quad cv \text{ Variationskoeffizient,} \\ n \text{ Anzahl Beobachtungsjahre;}$$

- Koeffizienten, bei denen diese Approximation nicht moeglich ist, betreffen die Monate Juli bis Dezember. Die entsprechenden Einzugsgebiete liegen im tieferen Mittelland und im Jura;
- Den groessten Anteil normalverteilter Koeffizienten verzeichnen die Monate Maerz bis Juli (rund 80%). Dies entspricht den Monaten, in denen meistens das Hauptmaximum auftritt. Fuer die Berechnung der notwendigen Beobachtungsdauer nach Formel (2.1) ist somit eine gute Ausgangslage vorhanden:

$$(2.1) \quad N = \frac{Cv^2}{I^2} \times z_{1-a}^2$$

wobei: N Beobachtungsdauer
Cv Variationskoeffizient
I prozentuale Abweichung vom Mittelwert
a Sicherheitsmass
 z_{1-a} Quantil der Standardnormalverteilung

Tabelle 2. Variationskoeffizienten im Bereich des Hauptmaximums

| REGION | Monate d. Hauptmax. | Variationsbreite | mittlerer CV |
|------------|---------------------|------------------|--------------|
| Alpenrand | Mai, Jun | 20-35 % | 27 % |
| Voralpen | Apr, Mai | 20-45 % | 33 % |
| Mittelland | Feb-Apr | 25-60 % | 44 % |
| Jura | Jan-Apr | 30-70 % | 44 % |

Tabelle 2 enthaelt die Variationskoeffizienten im Bereich des Hauptmaximums in ausgewaehlten Regionen des Untersuchungsraumes. Die berechneten mittleren Variationskoeffizienten liegen deutlich hoeher als im Alpenraum:

Glaziale Regimetypen: 14 %
Glazionivaler Regimetyp: 17 %
Nivoglazialer und
nivaler Regimetyp: 21 %

Tabelle 3. Notwendige Beobachtungsdauer: Tabelliert sind die Beobachtungszeiten bei festem Variationskoeffizient fuer verschiedene Genauigkeiten.

| I | VARIATIONSKOEFFIZIENT (%) | | | | | | | |
|----|---------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 5 | 15 | 61 | 138 | 246 | 384 | 553 | 753 | 983 |
| 10 | 4 | 15 | 35 | 61 | 96 | 138 | 188 | 246 |
| 15 | 2 | 7 | 15 | 27 | 43 | 61 | 84 | 109 |
| 20 | 1 | 4 | 9 | 15 | 24 | 35 | 47 | 61 |

I Genauigkeit: prozentuale Abweichung vom Mittelwert

Der Jahresgang der Variationskoeffizienten zeigt im Bereich des Abflussmaximums ein Minimum. Auffaellig sind die hohen minimalen Variationskoeffizienten des Mittellandes und des Jura. Die Vorgabe einer gewuenschten Genauigkeit (im Alpenraum 10 %) ist wegen der bedeutend hoeheren Schwankungen der Abfluesse unrealistisch. Wie Tabelle 3 veranschaulicht, wuerden bei einer gewuenschten Genauigkeit der Abflusskoeffizienten von 10 % in der Voralpenregion eine Beobachtungsdauer von 30-40 Jahren, im uebrigen Mittelland und im Jura von ca. 75 Jahren resultieren. Solche Abflussmessreihen stehen fuer autochthone Flussgebiete selten zur Verfuegung. Als Konsequenz ergibt sich die Tatsache, dass die Abflussregimetypisierung des Untersuchungsraumes nicht mit demselben Genauigkeitsanspruch wie im Alpenraum durchgefuehrt werden kann.

Zur Festlegung der empirisch notwendigen Beobachtungszeit muss ein Optimum zwischen den zur Verfuegung stehenden Abflussmessreihen und einer befriedigenden Genauigkeit gefunden werden. Dazu dient Tabelle 4, die fuer eine bestimmte Beobachtungsdauer zu verschiedenen Variationskoeffizienten die Genauigkeit des Monatskoeffizienten angibt.

Tabelle 4. Genauigkeit der Monatskoeffizienten: Tabelliert ist die Genauigkeit bei fixer Beobachtungszeit fuer bestimmte Variationskoeffizienten.

| STAT | BEOB | Variationskoeffizienten in % | | | | | | | | | |
|------|------|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 46 | 10 | 12 | 16 | 19 | 22 | 25 | 28 | 31 | 37 | 43 | 50 |
| 41 | 15 | 10 | 13 | 15 | 18 | 20 | 22 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| 28 | 20 | 9 | 11 | 13 | 15 | 18 | 20 | 22 | 26 | 31 | 35 |
| 20 | 25 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 24 | 27 | 31 |

Anzahl repraesentativer Stationen (STAT) zu einer gewaehlten Beobachtungsdauer (BEOB)

Ein Optimum ergibt sich bei einer Beobachtungsdauer von 15 Jahren. Die Genauigkeit der maximalen Monatskoeffizienten schwankt dann zwischen 15 % (Alpenrandgebiete) und 22 % (Mittelland und Jura). Eine Senkung der Beobachtungszeit auf 10 Jahre vergroessert die Zahl der Stationen nur um fuenf bei einer Verschlechterung der Genauigkeit um 5-10 %; eine Erhoehung auf 20 Jahre hingegen verringert die Anzahl Stationen betraechtlich.

Die empirisch notwendige Beobachtungsdauer wird deshalb fuer das Untersuchungsgebiet auf 15 Jahre festgelegt. Stationen mit einer Beobachtungsdauer ≥ 15 Jahre werden unter Gueltigkeit der uebrigen Bedingungen (vgl. "M 2.1. Aus-

2. Datenlage

wahlkriterien fuer repraesentative Stationen") fuer die Abflussregimetypisierung verwendet.

M 2.1.3. Autochthone Einzugsgebiete

Eine Regimetypisierung muss auf autochthonen Einzugsgebieten basieren, falls das Abflussverhalten der Fluesse als Produkt der umgebenden Landschaft verstanden werden soll. Da die vorliegende Arbeit u.a. dieses Zusammenwirken der Geofaktoren untersuchen will, werden die grossen Fluesse ausgeklammert und eine Abflussregimetypisierung aufgrund von autochthonen Einzugsgebieten vorgenommen. Wie im Alpenraum betraegt die obere Grenze 500 km². Um eine allzugrosse Beeinflussung durch lokale Besonderheiten auszuschliessen, wird eine untere Begrenzung von 10 km² nicht unterschritten.

M 2.1.4. Modifikation der Regimes durch Seen

Im Untersuchungsgebiet treten in einzelnen Einzugsgebieten auch Seen auf. Soweit sie nicht reguliert sind, vermoegen sie das Abflussregime auf natuerliche Weise zu modifizieren. Die Datenlage laesst es leider nicht zu, diese natuerlichen Modifikationen typisierend zu erfassen. Bei der Regimetypisierung werden Stationen am Unterlauf von Seen nicht beruecksichtigt (vgl. "M 2.1.1. Konsistenz und Homogenitaet").

M 2.2. REPRAESENTATIVE STATIONEN

Die in Tabelle 5 zusammengestellten Stationen erfuellen die eben diskutierten Bedingungen. Ihre raeumliche Verteilung zeigt Figur 6:

Es faellt auf, dass die Voralpen und der Jura gut vertreten sind, hingegen das tiefer gelegene Mittelland etliche Luecken offen laesst. In einigen Jahren ist aber eine bedeutende Verbesserung der Ausgangslage zu erwarten, wenn auch von den kantonalen Messnetzen langjaehrige Messreihen zur Verfuegung stehen werden.

Spezialfall Jura: In Anbetracht der geringen Flusssichte darf im Falle des Jura beinahe von einer Vollerhebung gesprochen werden, denn neben den repraesentativen Stationen stehen noch eine grosse Anzahl weiterer Stationen zur Verfuegung, wie Figur 7 zeigt. Einzig die Zufluesse der Birs aus dem Delsberger Becken (La Sorne und La Scheulte) und einige Vorfluter im Waadtlaender und Genfer Jura (Entwaesserungen in Richtung Lac Lemane) sind datenmaessig nicht belegt. Auch wenn die meisten dieser Stationen den Repraesentativitaetsanspruechen nicht vollends genuegen, so helfen sie - wie spaeter noch gezeigt wird - mit, ein umfassendes Bild des Abflussgeschehens im Jura zu gewinnen.

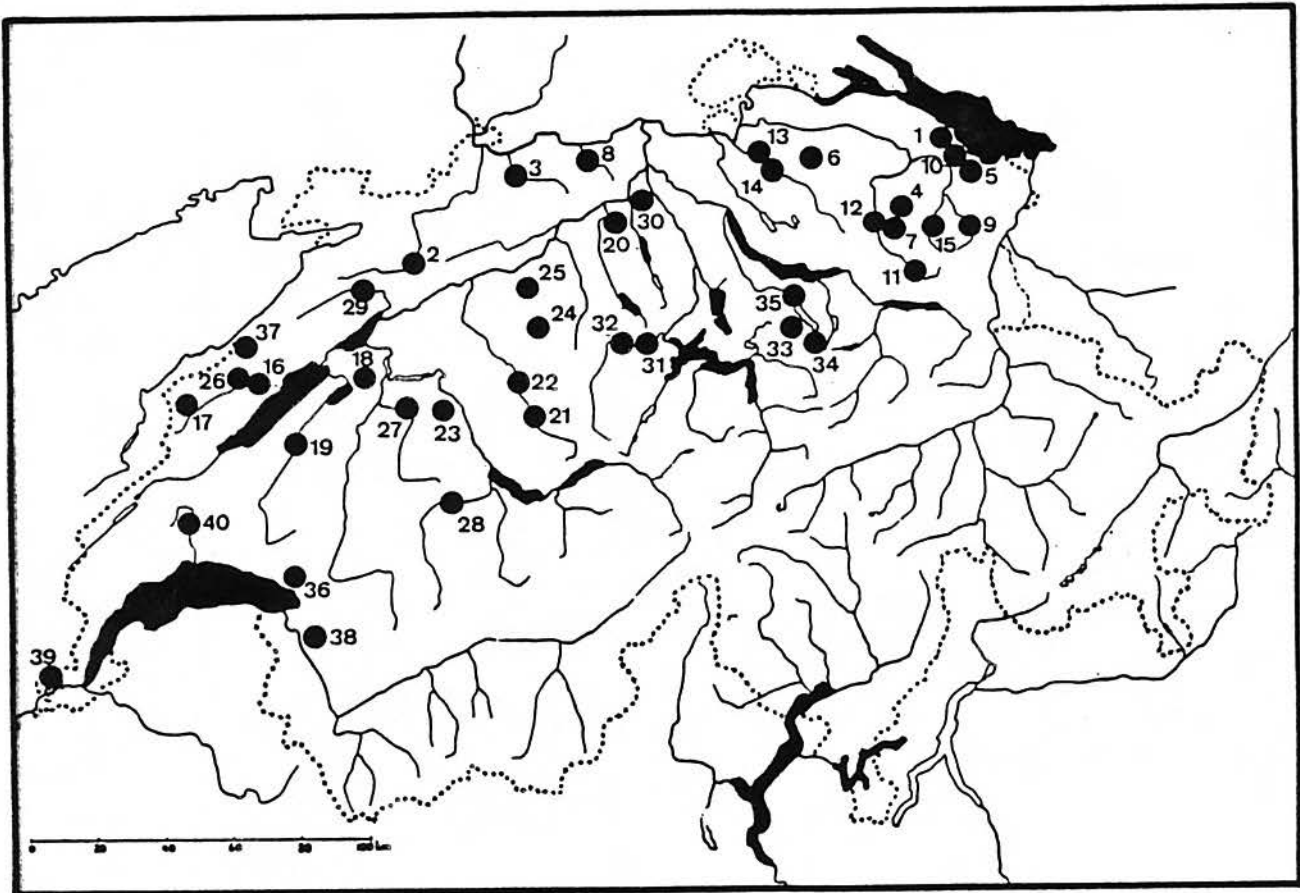
M 2.3. DATENSTRUKTUR

Einige wichtige Aspekte der Datenstruktur wie z.B. Homogenitaet und Konsistenz, aber auch die Verteilungsgesetze der Monatskoeffizienten wurden bereits diskutiert. Als weitere wichtige Punkte werden die Aussagekraft des Medians sowie

Tabelle 5. Repraesentative Stationen

| | Nr | Fluss | Messstelle | T | N | FN | MH | MAX | MIN | ABK |
|----------------------------|----|---------------|----------------|---------|----|-----|------|------|-----|----------|
| R H E I N | 1 | Aach | Salmsach | 1962-80 | 19 | 49 | 480 | 532 | 406 | AACH6280 |
| | 2 | Birs | Moutier | 1917-80 | 64 | 183 | 930 | 1330 | 519 | BIRM1780 |
| | 3 | Ergolz | Liestal | 1934-80 | 47 | 261 | 590 | 1204 | 305 | ERGL3480 |
| | 4 | Glatt | Herisau | 1961-80 | 20 | 16 | 840 | 1074 | 679 | GLAH6180 |
| | 5 | Goldach | Goldach | 1962-80 | 19 | 50 | 833 | 1251 | 399 | GOLD6280 |
| | 6 | Murg | Waengi | 1954-80 | 27 | 78 | 650 | 1035 | 466 | MURW5480 |
| | 7 | Necker | Necker | 1917-33 | 17 | 85 | 985 | 1532 | 632 | NECK1733 |
| | 8 | Sisseln | Eiken | 1959-80 | 22 | 124 | 529 | 963 | 314 | SISS5980 |
| | 9 | Sitter | Appenzell | 1923-67 | 45 | 74 | 1252 | 2501 | 769 | SITA2367 |
| | 10 | Steinach | Steinach | 1962-80 | 19 | 24 | 710 | 1084 | 406 | STEA6280 |
| | 11 | Thur | Stein | 1964-80 | 17 | 84 | 1448 | 2501 | 850 | TURS6480 |
| | 12 | Thur | Buetschwil | 1922-74 | 53 | 303 | 1110 | 2501 | 565 | TURB2274 |
| | 13 | Toess | Neftenbach | 1921-80 | 60 | 342 | 650 | 1293 | 389 | TOES2180 |
| | 14 | Toess | Wuelflingen | 1965-80 | 18 | 262 | 787 | 1293 | 420 | TOEW6580 |
| | 15 | Urnaesch | Hundwil | 1962-80 | 19 | 65 | 1085 | 2448 | 747 | URNA6280 |
| A A R E | 16 | Areuse | Champs d.Moul. | 1949-80 | 32 | 359 | 1080 | 1250 | 635 | AREC4980 |
| | 17 | Areuse | St.Sulpice | 1959-80 | 22 | 127 | 1081 | 1250 | 755 | ARES5980 |
| | 18 | Biberenkanal | Kerzers | 1956-80 | 25 | 50 | 540 | 630 | 433 | BIBK5680 |
| | 19 | Broye | Payerne | 1920-80 | 61 | 392 | 710 | 2014 | 441 | BROY2080 |
| | 20 | Buenz | Othmarsingen | 1957-80 | 24 | 111 | 533 | 878 | 390 | BUNZ5780 |
| | 21 | Emme | Eggiwil | 1931-74 | 44 | 102 | 1330 | 2221 | 773 | EMEG3174 |
| | 22 | Emme | Emmenmatt | 1929-80 | 52 | 443 | 1070 | 2221 | 638 | EMEM2980 |
| | 23 | Guerbe | Belp | 1923-80 | 58 | 124 | 837 | 2176 | 509 | GUER2380 |
| | 24 | Langeten | Huttwil | 1966-80 | 15 | 60 | 766 | 1119 | 597 | LANH6680 |
| | 25 | Langeten | Lotzwil | 1924-80 | 57 | 115 | 713 | 1119 | 500 | LANL2480 |
| | 26 | Noiraigue | Noiraigue | 1959-79 | 21 | 68 | 1065 | 1250 | 728 | NOIR5979 |
| | 27 | Sense | Thoerishaus | 1928-76 | 49 | 352 | 1068 | 2189 | 551 | SENS2876 |
| | 28 | Simme | Oberwil | 1921-80 | 60 | 344 | 1640 | 3243 | 777 | SIMO2180 |
| | 29 | Suze | Sonceboz | 1961-80 | 20 | 195 | 1050 | 1608 | 642 | SUZE6180 |
| | 30 | Wyna | Unterkulm | 1953-80 | 28 | 92 | 649 | 872 | 455 | WYNA5380 |
| R E U S S | 31 | Kl. Emme | Malters | 1936-77 | 42 | 448 | 1070 | 2350 | 470 | KLEM3677 |
| | 32 | Kl. Emme | Werthenstein | 1917-35 | 19 | 355 | 1236 | 2350 | 538 | KLEW1735 |
| L I M M A T | 33 | Alp | Trachslau | 1925-50 | 26 | 34 | 1200 | 1899 | 909 | ALPT2550 |
| | 34 | Minster | Euthal | 1961-80 | 20 | 59 | 1351 | 2282 | 893 | MINS6180 |
| | 35 | Sihl | Untersiten | 1921-36 | 16 | 157 | 1226 | 2282 | 845 | SILU2136 |
| R H O N E | 36 | Baye d.Montr. | Montreux | 1933-73 | 41 | 14 | 1220 | 1941 | 540 | BAYE3373 |
| | 37 | Bied d. Locle | La Ranconniere | 1964-80 | 17 | 38 | 1080 | 1250 | 819 | BIED6480 |
| | 38 | Grande Eau | Aigle | 1935-56 | 22 | 132 | 1560 | 3210 | 414 | GRAN3556 |
| | 39 | London | Malval | 1918-35 | 18 | 119 | 876 | 1687 | 397 | LOND1835 |
| | 40 | Venoge | Lussery | 1948-78 | 31 | 165 | 800 | 1679 | 383 | VENO4878 |

T Messperiode
 N Anzahl Beobachtungsjahre
 FN Einzugsgebietsgrosse in km²
 MH mittlere Einzugsgebietshoehe in m
 MAX hoechster Punkt des Einzugsgebietes in m
 MIN tiefster Punkt des Einzugsgebietes in m
 ABK im folgenden gebrauchliche Abkuerzung fuer die betreffende reprae-
 sentative Station



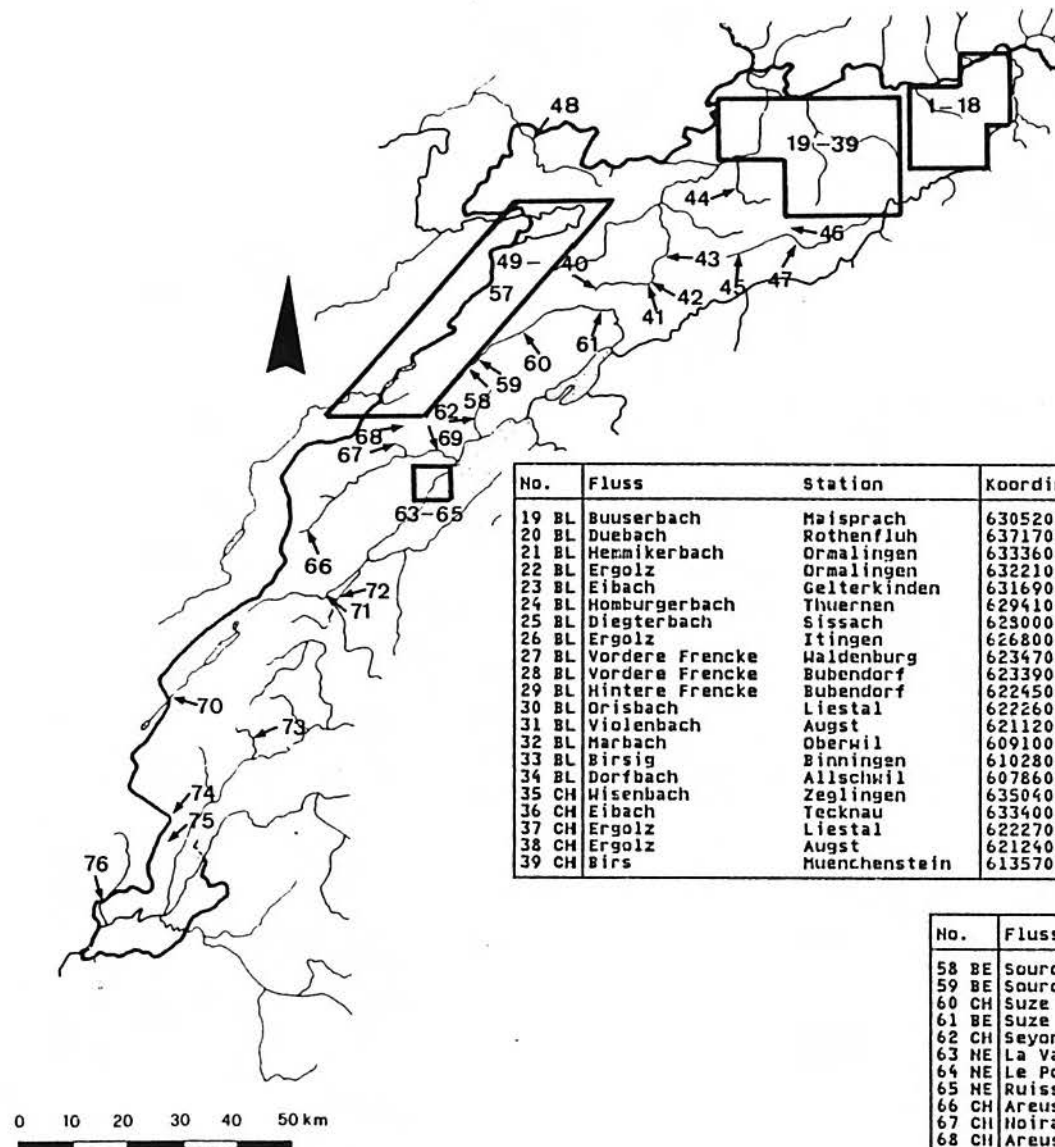
Figur 6. Räumliche Verteilung der Repräsentativstationen: Die Nummern beziehen sich auf die Angaben in Tabelle 5.

Abhängigkeiten resp. Unabhängigkeiten der Monatsabflüsse als Voraussetzung für statistische Analysen näher untersucht.

M 2.3.1. Median und Mittelwert

Die Monatskoeffizienten sind zu rund 62 % normalverteilt; der Rest weist eine leicht positive Schiefe auf und folgt einer PEARSON-III-Verteilung, die sich als Wahrscheinlichkeitsverteilung für Abflüsse bewährt hat (SIEGERSTÄETTER 1973, GLOS 1966). Aufgrund dieser Ausgangslage darf erwartet werden, dass sich Regimekurven aufgrund von Medianen von Mittelwertskurven unterscheiden. Es stellt sich sogar die Frage, ob grundsätzlich andere Regimes auftreten könnten. Allerdings deutet die Tatsache, dass sich 82 % der PEARSON-verteilten Monatskoeffizienten mit nur kleinem Fehler durch eine Normalverteilung approximieren lassen (vgl. "M 2.1.2. Notwendige Beobachtungszeit"), darauf hin, dass dies kaum der Fall sein dürfte. Tatsächlich zeigt Figur 8, dass die Unterschiede zwischen Mediankurven und Mittelwertskurven klein sind.

Die ausgewählten Beispiele gelten als stellvertretend für die Abflüsse des Untersuchungsgebietes. Wegen der leicht positiven Schiefe liegt die Mediankurve etwas tiefer, verläuft im übrigen aber parallel zur Mittelwertskurve. In einigen Fällen sind die Herbstmaxima der Mediankurven etwas weniger akzentuiert. Man darf somit davon ausgehen, dass eine Regimetypisierung aufgrund von Mediankurven anstelle von Mittelwertskurven das gleiche Resultat liefert, und dass dadurch das Hauptproblem, nämlich die schlechte Repräsentativität der statistischen Lageparameter, nicht gelöst wird. Aus prak-



| No. | Fluss | Station | Koordinaten | km ² | Beob. |
|-------|------------------|------------|--------------|-----------------|---------|
| 01 AG | Mettnauerbach | Etzgen | 650510269075 | 25 | ab 1980 |
| 02 AG | Sulzerbach | Sulz | 649625265875 | 8 | ab 1980 |
| 03 AG | Kaistenbach | Kaisten | 645340266025 | 12 | ab 1980 |
| 04 AG | Sissle | Hornussen | 645210261450 | 37 | ab 1979 |
| 05 AG | Staffeleggbach | Frick | 645140261290 | 21 | ab 1979 |
| 06 AG | - | - | 641700259020 | 17 | ab 1982 |
| 07 AG | Bruggbach | Gipf | 642850261490 | 45 | ab 1979 |
| 08 AG | Feihalterbach | Frick | 643860261325 | 6 | ab 1980 |
| 09 AG | Sissle (Sisslen) | Eiken | 642030264715 | 123 | ab 1959 |
| 10 AG | - | - | 636950261485 | 8 | ab 1982 |
| 11 AG | - | - | 632600265800 | 27 | ab 1982 |
| 12 AG | - | - | 627065266025 | 33 | ab 1982 |
| 13 AG | - | - | 641890251295 | 7 | ab 1982 |
| 14 AG | Hilenbergbach | Kuettigen | 644100252890 | 1 | ab 1979 |
| 15 AG | - | - | 646700251165 | 9 | ab 1982 |
| 16 AG | Talbach | Schinznach | 653610255425 | 14 | ab 1980 |
| 17 AG | - | - | 656760262860 | 13 | ab 1980 |
| 18 AG | - | - | 658700270120 | 9 | ab 1982 |

| No. | Fluss | Station | Koordinaten | km ² | Beob. |
|-------|-----------------|---------------|--------------|-----------------|---------|
| 19 BL | Buuserbach | Maisprach | 630520263780 | 10 | ab 1975 |
| 20 BL | Duebach | Rothenfluh | 637170257590 | 4 | ab 1976 |
| 21 BL | Hermikerbach | Ormalingen | 633360257910 | 5 | ab 1976 |
| 22 BL | Ergolz | Ormalingen | 632210257710 | 31 | ab 1975 |
| 23 BL | Eibach | Gelterkinden | 631690256950 | 27 | ab 1974 |
| 24 BL | Homburgerbach | Thurnen | 629410256450 | 30 | ab 1974 |
| 25 BL | Diegterbach | Sissach | 623000257090 | 33 | ab 1974 |
| 26 BL | Ergolz | Itingen | 626800257715 | 141 | ab 1980 |
| 27 BL | Vordere Frencke | Waldenburg | 623470248120 | 13 | ab 1975 |
| 28 BL | Vordere Frencke | Bubendorf | 623390255510 | 46 | ab 1974 |
| 29 BL | Hintere Frencke | Bubendorf | 622450255370 | 33 | ab 1970 |
| 30 BL | Orisbach | Liestal | 622260259440 | 20 | ab 1980 |
| 31 BL | Violenbach | Augst | 621120265040 | 19 | ab 1977 |
| 32 BL | Harbach | Oberwil | 609100262490 | 13 | ab 1979 |
| 33 BL | Birsig | Binningen | 610280265320 | 75 | ab 1975 |
| 34 BL | Dorfbach | Allschwil | 607860266970 | 12 | ab 1977 |
| 35 CH | Wisnibach | Zeglingen | 635040251500 | 6 | 11 - 14 |
| 36 CH | Eibach | Tecknau | 633400255570 | 22 | 12 - 15 |
| 37 CH | Ergolz | Liestal | 622270259770 | 261 | ab 1934 |
| 38 CH | Ergolz | Augst | 621240263230 | 279 | 10 - 33 |
| 39 CH | Birs | Muenchenstein | 613570263080 | 511 | ab 1917 |

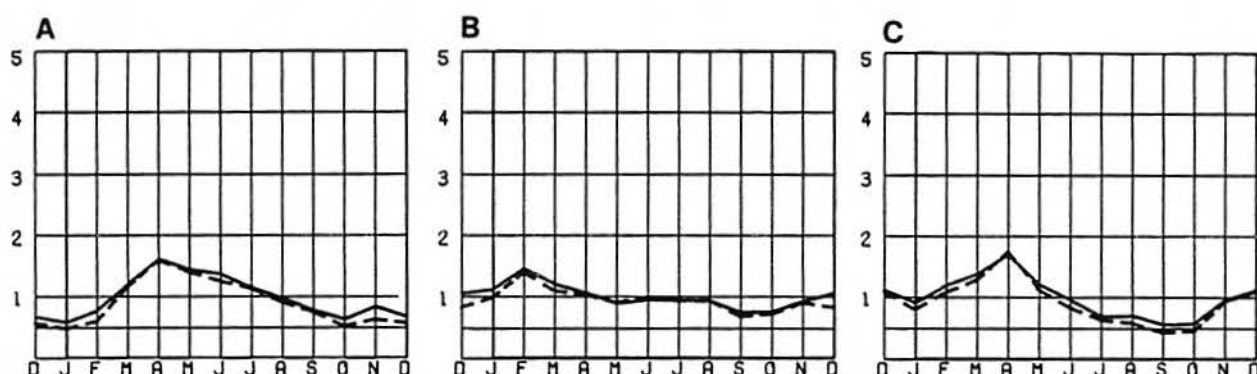
| No. | Fluss | Station | Koordinaten | km ² | Beob. |
|-------|--------------------|-----------------|--------------|-----------------|---------|
| 40 BE | Source de la Birse | Tavannes | 581610229500 | - | ab 1975 |
| 41 CH | Birs | Court | 592410232000 | 91 | 11 - 13 |
| 42 BE | Birs | Court | 593150232540 | 91 | ab 1975 |
| 43 CH | Birs | Moutier | 595740237010 | 183 | ab 1912 |
| 44 SO | Luessel | Breitenbach | 607790250460 | 45 | ab 1977 |
| 45 SO | Duennern | Herbetswil | 610470237520 | 29 | ab 1976 |
| 46 SO | Augstbach | Balsthal | 619120240310 | 64 | ab 1973 |
| 47 SO | Duennern | Balsthal | 618930239520 | 75 | ab 1970 |
| 48 DR | Allaine | Boncourt | 568000260000 | 198 | 66 - 68 |
| 49 CH | Doubs | Moron | 547260216870 | 907 | 04 - 20 |
| 50 CH | Doubs | Le Chatelot | 547110217230 | 911 | 20 - 36 |
| 51 CH | Doubs | Combe Sarrazins | 557530227320 | 980 | ab 1949 |
| 52 CH | Doubs | La Eouge | 558800228750 | 1143 | 49 - 54 |
| 53 CH | Doubs | Le Noirmont | 561430231050 | 1066 | ab 1971 |
| 54 CH | Doubs | Soubey | 570000239000 | 1141 | 71 - 72 |
| 55 CH | Doubs | St. Ursanne | 578510245930 | - | 21 - 37 |
| 56 CH | Doubs | Ocourt | 571760243715 | 1230 | ab 1921 |
| 57 CH | Bied de Locle | La Ranconniere | 545025211575 | 38 | ab 1964 |

| No. | Fluss | Station | Koordinaten | km ² | Beob. |
|-------|--------------------|------------------|--------------|-----------------|---------|
| 58 BE | Source de la Dou | Cormoret | 569930224040 | - | ab 1976 |
| 59 BE | Source de Ralsetta | Cormoret | 570740224810 | - | ab 1976 |
| 60 CH | Suze | Sonceboz | 579810227350 | 195 | ab 1961 |
| 61 BE | Suze | Pery | 585520225700 | 175 | ab 1976 |
| 62 CH | Seyon | Valangin | 559370206810 | 112 | ab 1980 |
| 63 NE | La Vaux | Vaumarcus | 548245192140 | - | ab 1979 |
| 64 NE | Le Pontet | St-Aubin | 549420193850 | - | ab 1979 |
| 65 NE | Ruiss. du Chateau | Gorgier | 550280194670 | - | ab 1979 |
| 66 CH | Areuse | St. Sulpice | 532980195880 | 127 | ab 1959 |
| 67 CH | Noiraigue | Noiraigue | 545720200780 | 68 | 59 - 79 |
| 68 CH | Areuse | Champ. de Moulin | 547820200100 | 559 | ab 1923 |
| 69 CH | Le Bied | Ponts-de-Martel | 547320205250 | - | 70 - 78 |
| 70 CH | Orbe | Le Chenit | 501445156305 | 44 | ab 1971 |
| 71aCH | Orbe | Orbe | 531110175050 | 336 | 06 - 72 |
| 71bCH | Orbe | Orbe | 530080175560 | 333 | ab 1973 |
| 72 CH | Hozon | Orny | 529740168670 | 46 | 23 - 31 |
| 73 CH | Aubonne | Allaman | 520720147410 | 91 | ab 1979 |
| 74 CH | Le Grenier | Bogis-Bossey | 502010134420 | - | 17 - 30 |
| 75 CH | Versoix | La Batie | 499050127180 | 76 | 13 - 30 |
| 76 CH | London | Malval | 468880119430 | 119 | 18 - 35 |

Figur 7. Die Abflussstationen im Jura: Quellen: BUTTET und SPREAFICO 1983; AARGAU. BAUDEPARTEMENT; BAUDIREKTION BASEL-LANDSCHAFT.

2. Datenlage

tischen Gruenden wird im folgenden deshalb der Mittelwertskurve der Vorzug gegeben.



Figur 8. Vergleich Mittelwertskurve - Mediankurve:

| | | |
|---|---------------------|---------|
| A | Emme, Emmenmatt | 1929-80 |
| B | Buenz, Othmarsingen | 1957-80 |
| C | Suze, Sonceboz | 1961-80 |

----- Median
—— Mittelwert

M 2.3.2. Korrelationen benachbarter Monatsabflüsse

Vorab muss bemerkt werden, dass sich die Korrelationen zwischen den absoluten Monatsabflüssen deutlich von denjenigen zwischen den monatlichen Abflusskoeffizienten nach PARDE unterscheiden: Bei den Abflusskoeffizienten werden durch die Division der absoluten Monatsabflüsse mit dem mittleren Jahresabfluss die effektiv vorhandenen Korrelationen zwischen den Monaten verfälscht bzw. verschlechtert. Es empfiehlt sich deshalb, bei korrelativen Modellen mit den absoluten Werten zu arbeiten.

Die Korrelationsanalyse der Abflüsse ermöglicht es, Steuerelemente der Einzugsgebiete zu erkennen. So kann nach DYCK(1980:35-36) ueber die Korrelationen benachbarter Monatsabflüsse allgemein das Rueckhaltevermoegen eines Einzugsgebietes beschrieben werden, wobei nach demselben Autor folgende Grundzuege charakteristisch sind:

- Die Korrelationen benachbarter Monate sind im Herbst am groessten, bedingt durch den Aufbrauch der Gebietsvorraete, welcher nicht durch andere Steuereffaktoren beeintraehtigt wird.
- Das Rueckhaltevermoegen tief liegender Einzugsgebiete ist groesser als dasjenige hoch gelegener Einzugsgebiete.

Diese Grundzuege sollen nun an unseren repraesentativen Stationen verifiziert werden. Als Grundlage dieser Betrachtung dient Tabelle 6.

In der Gesamtheit aller repraesentativen Stationen sind rund 50% der benachbarten Monatspaare signifikant korreliert, wobei die signifikant korrelierten Paare in der zweiten Jahreshaelfte im Mittel etwas ueberwiegen. Auffallend ist zudem, dass die Paare im Uebergangsbereich vom minimalen zum maximalen Monatsabfluss (Januar - Februar, Februar - Maerz, Maerz - April; je nach Lage der Station) haeufig nicht signifikant korreliert sind. Hier manifestiert sich of-

Tabelle 6. Korrelationen benachbarter Monate: Signifikante Korrelationen zwischen den zeitlich benachbarten Monatsabflüssen der repräsentativen Stationen (Alpha = 5%).

| Station | Dez Jan | Jan Feb | Feb Mrz | Mrz Apr | Apr Mai | Mai Jun | Jun Jul | Jul Aug | Aug Sep | Sep Okt | Okt Nov | Nov Dez |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SIM02180 | 0.46 | 0.40 | 0.32 | | 0.28 | 0.59 | 0.48 | 0.54 | 0.56 | | 0.52 | 0.44 |
| GRAN3556 | | 0.76 | 0.50 | | | 0.57 | | 0.65 | 0.46 | | 0.47 | 0.77 |
| SITA2367 | 0.31 | | | | 0.35 | 0.35 | 0.39 | | 0.46 | | 0.33 | |
| TURS6480 | 0.58 | | | | | 0.50 | 0.68 | 0.51 | | | | |
| TURB2274 | 0.44 | | | | 0.38 | | | 0.31 | 0.41 | | 0.35 | |
| SILU2180 | | | | 0.61 | | | | | 0.59 | | | |
| MINS6180 | 0.63 | | | | | 0.45 | | | | | | |
| KLEW1735 | | | | 0.59 | 0.39 | | | | 0.58 | | 0.60 | |
| KLEM3677 | 0.42 | | | | 0.54 | 0.32 | 0.43 | 0.43 | | 0.48 | 0.42 | |
| BAYE3373 | | | | | 0.51 | 0.51 | | 0.40 | 0.70 | 0.44 | 0.53 | 0.55 |
| EMEG3174 | 0.43 | | | | 0.35 | 0.42 | 0.38 | 0.32 | | | 0.34 | |
| EMEM2980 | 0.42 | | | | 0.58 | 0.33 | 0.37 | 0.35 | 0.45 | 0.34 | 0.50 | 0.41 |
| NECK1733 | | | | 0.62 | | | | | 0.53 | | 0.62 | |
| SENS2876 | | 0.41 | | 0.29 | 0.55 | 0.32 | 0.41 | 0.45 | 0.43 | 0.32 | 0.44 | 0.38 |
| URNA6280 | 0.66 | 0.48 | | | | | | | | | | |
| ALPT2550 | | 0.40 | | | 0.40 | | 0.45 | | 0.63 | | | |
| TOEW6582 | 0.67 | | | | 0.65 | | | | | | | |
| TOES2180 | 0.39 | | | 0.27 | 0.48 | | 0.31 | 0.37 | 0.46 | 0.36 | 0.44 | 0.40 |
| STEA6280 | | 0.46 | | | | | | | | | | |
| GLAH6180 | 0.53 | 0.46 | | | | | | | | | | |
| GOLD6280 | 0.50 | 0.59 | 0.27 | | | | | | | | | |
| BROY2180 | 0.47 | 0.31 | | 0.29 | 0.42 | 0.30 | 0.42 | 0.42 | 0.65 | | 0.52 | 0.46 |
| LANH6680 | 0.65 | | 0.62 | 0.52 | 0.85 | | 0.72 | | 0.83 | 0.54 | | |
| LANL2480 | 0.64 | 0.39 | 0.33 | 0.57 | 0.80 | 0.46 | 0.58 | 0.65 | 0.69 | 0.62 | 0.54 | 0.67 |
| BUNZ5780 | 0.62 | 0.34 | 0.48 | 0.58 | 0.84 | 0.57 | 0.58 | 0.63 | 0.77 | 0.58 | 0.61 | 0.67 |
| AACH6280 | | | | | | | | | | | | |
| BIBK5680 | 0.65 | 0.40 | | 0.47 | 0.80 | 0.53 | 0.63 | 0.54 | 0.67 | 0.56 | 0.42 | 0.51 |
| MURW5480 | 0.55 | | | | 0.50 | | | | | | | |
| VENO4878 | 0.63 | 0.44 | | | 0.63 | 0.42 | 0.43 | 0.44 | 0.60 | 0.48 | 0.39 | 0.43 |
| GUER2380 | 0.44 | 0.33 | | 0.41 | 0.67 | 0.48 | 0.53 | 0.51 | 0.66 | 0.36 | 0.54 | 0.59 |
| WYNA5380 | 0.57 | | | | 0.75 | | 0.52 | | 0.66 | 0.40 | 0.39 | 0.47 |
| AREC4980 | 0.55 | | | | 0.61 | | 0.55 | | 0.56 | | | |
| ARES5980 | 0.74 | | | | 0.53 | | 0.50 | | 0.52 | | | |
| NOIR5979 | 0.75 | | | | 0.76 | 0.51 | 0.53 | 0.61 | 0.57 | 0.46 | 0.51 | |
| SUZE6180 | 0.75 | 0.51 | | | 0.77 | | 0.67 | 0.59 | 0.49 | | 0.45 | |
| BIED6480 | 0.72 | | | | 0.86 | | 0.65 | | 0.61 | | | |
| LOND1835 | 0.54 | | | 0.66 | 0.49 | | 0.56 | 0.63 | 0.85 | | 0.82 | |
| ERGL3480 | 0.37 | | | 0.41 | 0.61 | | | 0.48 | 0.48 | 0.34 | 0.56 | 0.46 |
| SISS5980 | 0.53 | 0.47 | | | 0.74 | | 0.47 | | 0.73 | | 0.57 | |
| BIRM1780 | 0.51 | | | 0.38 | 0.63 | | 0.34 | 0.50 | 0.57 | 0.32 | 0.64 | 0.42 |

fensichtlich die zeitliche Abloesung zweier unabhaengiger Steuergroessen am deutlichsten.

Die raeumliche Umsetzung der repraesentativen Stationen nach der Anzahl signifikant korrelierter Monatspaare laesst ein interessantes Verteilungsmuster entstehen, das einige Zusammenhaenge erkennen, aber auch viele Fragen offen laesst:

Alpenrand, Voralpen und Mittelland

Einzugsgebiete mit 1 - 3 korrelierten Monatspaaren: In diesen Einzugsgebieten ist nach DYCK allgemein ein kleines Rueckhaltevermoegen zu erwarten. Ebenso ist eine Abschaetzung der Monatsabfluesse aus den Abfluessen ihrer Vormonate auf korrelativer Basis nicht realisierbar. Eine Haeufung dieser Gruppe ist im ostschweizerischen Voralpengebiet zu erkennen: Hydrogeologisch liegen die Einzugsgebiete dieser Stationen in der Molasse, welche i. allg. mittel bis gering durchlaessig ist (vgl. JAECKLI 1967). Hier scheint ein Zusammenhang zwischen der kleinen Anzahl korrelierter Monate bzw. dem daraus abgeleiteten geringen Retentionsvermoegen und der Geologie offensichtlich zu bestehen. Die Komplex-

2. Datenlage

xitaet des Sachverhaltes zeigt sich aber dann, wenn man diese Einzugsgebiete mit der Emme-Eggiwil oder der Langeten-Huttwil vergleicht, die hydrogeologisch aehnlich aufgebaut sind, welche nun aber eine weit groessere Anzahl korrelierter Monatspaare aufweisen. Dieses Beispiel veranschaulicht, wie unsicher es ist, allein aufgrund der Korrelationen benachbarter Monate auf das Rueckhaltevermoegen einzelner Einzugsgebiete zu schliessen.

Einzugsgebiete mit 4 - 6 korrelierten Monatspaaren: Obwohl sich diese Gruppe raeumlich im hoeheren zentralen und oestlichen Voralpengebiet ansiedeln laesst, ist das zeitliche Auftreten der korrelierten Monatspaare recht unterschiedlich, so dass es hier schwierig ist, Allgemeingueltiges zu erkennen. Immerhin laesst sich feststellen, dass bei der

Sitter-Appenzell (April/Mai bis Juni/Juli)
Thur-Stein (Mai/Juni bis Juli/August)
Emme-Eggiwil (April/Mai bis Juli/August)
Kleine Emme-Malters (April/Mai bis Juli/August)

die Monatsabfluesse im Fruehling und Sommer - im absteigenden Ast des Abflussmaximum - voneinander signifikant abhaengen.

Einzugsgebiete mit mehr als 6 korrelierten Monatspaaren: Wie eingangs dieses Kapitels dargelegt wurde, weisen vor allem die tiefer gelegenen Einzugsgebiete eine grosse Anzahl korrelierter Monatspaare auf. Die mittlere Einzugsgebietshoehe ist hier aber nur der mittelbare Grund, indem generell mit abnehmender Meereshoehe der Anteil speicherfaehiger Lockergesteine zunimmt (vgl. JAECKLI 1967). Als Beispiel fuer diese Zusammenhaenge soll die Toess erwaeht werden:

- Toess-Wuelflingen: mittlere Einzugsgebietshoehe 787 mueM.. Molasse - Einzugsgebiet mit kleineren Lockergesteins-Aquiferen im Talgrund:
==> 2 signifikant korrelierte Monatspaare.
- Toess-Neftenbach: mittlere Einzugsgebietshoehe 650 mueM.. Hydrogeologisch wie Toess-Wuelflingen, aber zusaetzlich mit den ausgedehnten Lockergesteins-Aquiferen des Eulach - Teileinzugsgebietes:
==> 9 signifikant korrelierte Monatspaare.

Aehnliche Zusammenhaenge lassen sich erkennen zwischen:

Emme-Eggiwil und Emme-Emmenmatt,
Langeten-Huttwil und Langeten-Lotzwil,
Kleine Emme-Werthenstein und Kleine Emme-Malters.

Die Aach-Salmsach hingegen, obwohl sie sehr tief liegt, zeigt keine Korrelationen benachbarter Monate; ihr Einzugsgebiet ist nach JAECKLI(1967) aus lehmigen Kiesen bzw. Moraenen mit uneinheitlicher Durchlaessigkeit aufgebaut.

Die Zusammenhaenge zwischen der raeumlichen Ausstattung und dem korrelativen Verhalten der Monatsabfluesse sind aber auch hier nicht ueber jeden Zweifel erhaben: So weist beispielsweise das Broye - Gebiet nach Untersuchungen von PARIOT (zit. in SCHMIDT 1981:29) ein sehr kleines Speichervermoegen auf. Damit laesst sich zwar das durch geringe sommerliche Abfluesse gepraeagte Abflussregime erklaren; die Tatsache aber, dass bei der Broye zehn Monatspaare signifikant korreliert sind, steht dazu nach den Annahmen von DYCK eigentlich im Widerspruch.

In diese Gruppe gehoeren auch die Grande Eau, die Simme und die Baye de Montreux. Inwieweit die verkarsteten Zonen hier einen Einfluss ausueben, ist an dieser Stelle nicht abschliessend zu klaeren. Ein derartiger Einfluss ist allerdings sehr plausibel.

Allgemein sind in dieser Gruppe die Voraussetzungen guenstig, die Monatsabfluesse aus den Abfluessen ihrer Vormonate zu schaeetzen.

Jura

Die Verhaeltnisse sind hier in bezug auf die Korrelationen wiederum sehr komplex: Die Anzahl korrelierter Monatspaare schwankt zwischen 4 und 9. Das raeumliche "Nebeneinander" verschiedener Gruppen laesst die Individualitaet der Karstsysteme auch in bezug auf diesen Aspekt erkennen.

Tabelle 7. Korrelationen zw. den Monatsabfluessen und den Jahresabfluessen: Es werden nur signifikante Korrelationen ausgewiesen; das Signifikanzniveau betraegt 5%.

| Station | Jan | Feb | Mrz | Apr | Mai | Jun | Jul | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SIM02180 | 0.36 | 0.50 | 0.40 | 0.44 | 0.69 | 0.71 | 0.63 | 0.54 | 0.45 | 0.46 | | |
| GRAN3556 | 0.48 | 0.61 | | | 0.49 | | 0.43 | | 0.45 | 0.48 | | |
| SITA2367 | 0.31 | 0.33 | | 0.43 | 0.63 | 0.52 | 0.46 | 0.47 | 0.57 | 0.38 | | |
| TURS6480 | | 0.58 | | | 0.77 | 0.75 | 0.81 | 0.73 | 0.51 | | | |
| TURB2274 | 0.35 | 0.36 | | 0.43 | 0.59 | 0.36 | 0.52 | 0.45 | 0.55 | 0.38 | | |
| SILU2180 | | | 0.71 | 0.71 | 0.74 | | 0.61 | | | | | |
| MINS6180 | | 0.59 | | | 0.76 | 0.67 | 0.51 | 0.45 | | | | |
| KLEW1765 | | | 0.61 | 0.77 | 0.68 | | 0.55 | 0.46 | | 0.54 | | |
| KLEM3677 | 0.31 | 0.45 | | 0.50 | 0.62 | 0.42 | 0.45 | 0.56 | 0.62 | 0.58 | | |
| BAYE3373 | | 0.36 | 0.38 | 0.58 | 0.59 | 0.37 | 0.53 | 0.52 | 0.64 | 0.54 | 0.56 | 0.52 |
| EMEG3174 | | 0.51 | | 0.46 | 0.70 | 0.42 | 0.35 | 0.50 | 0.33 | 0.41 | | |
| ENEM2980 | 0.32 | 0.46 | | 0.58 | 0.64 | 0.32 | 0.46 | 0.57 | 0.44 | 0.59 | 0.31 | |
| NECK1733 | | | 0.59 | 0.65 | 0.60 | | 0.62 | 0.49 | | | | |
| SENS2876 | 0.41 | 0.36 | | 0.51 | 0.66 | 0.30 | 0.58 | 0.62 | 0.59 | 0.54 | 0.44 | 0.33 |
| URNA6280 | | 0.66 | 0.53 | | 0.64 | | 0.56 | | | | | 0.51 |
| ALPT2550 | 0.31 | | | 0.56 | 0.72 | | 0.49 | 0.49 | | 0.64 | | |
| TOEW6582 | | 0.50 | 0.53 | | 0.73 | | | | | | | 0.51 |
| TOES2180 | 0.32 | 0.41 | 0.33 | 0.66 | 0.61 | | 0.45 | 0.58 | 0.44 | 0.62 | 0.33 | 0.34 |
| STEA6280 | | 0.64 | | 0.64 | | | | | | | | |
| GLAH6180 | | | | 0.52 | | | 0.70 | | | | | 0.61 |
| GOLD6280 | 0.56 | 0.69 | | 0.52 | | | | | | | | |
| BROY2180 | 0.46 | 0.46 | 0.37 | 0.51 | 0.52 | | 0.48 | 0.47 | 0.42 | 0.51 | 0.46 | 0.43 |
| LANH6680 | | 0.80 | 0.78 | 0.74 | 0.77 | | | 0.73 | 0.53 | 0.54 | | |
| LANL2480 | 0.56 | 0.57 | 0.54 | 0.77 | 0.76 | 0.50 | 0.65 | 0.75 | 0.69 | 0.71 | 0.46 | 0.49 |
| BUNZ5780 | | 0.52 | 0.59 | 0.81 | 0.75 | 0.51 | 0.49 | 0.76 | 0.74 | 0.57 | 0.57 | 0.61 |
| AACH6280 | | | | 0.67 | 0.60 | 0.48 | | | | | | 0.52 |
| BIBK5680 | 0.52 | 0.66 | 0.54 | 0.66 | 0.77 | 0.49 | 0.63 | 0.68 | 0.48 | | | 0.50 |
| MURW5480 | | 0.60 | 0.47 | 0.59 | 0.44 | 0.39 | | 0.44 | | | | 0.53 |
| VENO4878 | 0.48 | 0.61 | 0.55 | 0.50 | 0.60 | | | 0.38 | | 0.38 | | 0.43 |
| GUER2380 | 0.45 | 0.45 | 0.36 | 0.60 | 0.69 | 0.47 | 0.58 | 0.63 | 0.54 | 0.64 | 0.46 | 0.38 |
| WYNA5380 | | 0.51 | 0.48 | 0.66 | 0.71 | | 0.50 | 0.66 | 0.58 | 0.43 | 0.38 | 0.52 |
| AREC4980 | | 0.55 | 0.41 | 0.38 | 0.53 | | 0.37 | 0.49 | 0.42 | 0.40 | | 0.39 |
| ARES5980 | | 0.63 | | | 0.59 | | 0.59 | 0.62 | | | | |
| NOIR5979 | | 0.67 | 0.47 | 0.46 | 0.62 | | 0.59 | 0.71 | 0.49 | | | 0.43 |
| SUZE6180 | | 0.64 | 0.54 | 0.58 | 0.66 | | 0.55 | 0.67 | | | | |
| BIED6480 | 0.49 | 0.79 | 0.53 | 0.66 | 0.68 | | 0.49 | 0.76 | 0.58 | | | |
| LOND1835 | | | 0.66 | 0.75 | 0.64 | | 0.52 | | | 0.60 | 0.73 | |
| ERGL3480 | 0.37 | 0.43 | 0.34 | 0.67 | 0.65 | | | 0.57 | 0.50 | 0.58 | 0.44 | 0.52 |
| SISS5980 | 0.49 | 0.61 | 0.51 | 0.69 | 0.69 | | 0.34 | 0.59 | 0.55 | | | |
| BIRM1780 | 0.40 | 0.48 | 0.35 | 0.65 | 0.60 | | 0.38 | 0.46 | 0.47 | 0.60 | | 0.38 |

M 2.3.3. Korrelationen Monatsabfluesse - Jahresabfluss

Die Kenntnis dieses Fragenkomplexes ist ebenso bedeutungsvoll fuer die Abschaetzung einzelner Monatsabfluesse, zumal bei den gaengigen, korrelativen Schaetzverfahren meist vom Jahresabfluss ausgegangen wird. In Tabelle 7 sind die signifikanten Korrelationen der repraesentativen Stationen tabelliert. Die Zahl signifikant korrelierter Paare Monatsabfluss-Jahresabfluss verhaelt sich aehnlich wie bei den oben besprochenen Monatsabfluessen:

- Generell sind in den hoeheren Lagen und im Jura die monatlichen Abfluesse im Bereich des Maximums staerker und haeufiger mit dem Jahresabfluss korreliert als im Bereich minimaler Abfluesse (Okt, vor allem Nov bis Jan);
- in den tieferen Lagen, wo wir ausgeglichenere mittlere Abflussregimes vorfinden, nimmt die Zahl der korrelierten Monate zu, was hier wiederum die Abschaetzung der Monatsabfluesse beguenstigt.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die Korrelationen der zeitlich benachbarten Monatsabfluesse sind ein gutes, aber nicht genuegendes Indiz fuer die Beurteilung des Rueckhaltevermoegens eines Einzugsgebietes. Die Voraussetzungen zur Abschaetzung der absoluten Monatsabfluesse aus den Abfluessen ihrer Vormonate wie zur Abschaetzung aus dem Jahresabfluss sind vor allem im tieferen Mittelland gegeben.

M 3. TYPISIERUNG DER ABFLUSSREGIMES DES UNTERSUCHUNGSRAMES

Mit den Abflüssen aus mittellaendischen und jurassischen Einzugsgebieten haben sich bereits mehrere Autoren befasst. In "M 1.1. Bisherige Untersuchungen" wurden die Typisierungsansätze und die erzielten Resultate zusammenfassend dargestellt. Allen Arbeiten ist eines gemeinsam: die Datenbasis bilden Abflusskoeffizienten, gewonnen aus langjaehrigen Abflussmessreihen, und die Typisierungskriterien orientieren sich zur Hauptsache an der Lage des Maximums und des Minimums im Jahresgang des Abflusses. Der Stellenwert dieser Untersuchungen fuer eine gesamtraeumliche Analyse wurde im gleichen Kapitel diskutiert. Es lassen sich daraus in bezug auf eine Typisierung der Abflüsse aus mittellaendischen und jurassischen Einzugsgebieten folgende Schluesse ziehen:

1. Eine Typisierung, wie sie von GUILCHER(1965) im Untersuchungsraum und von uns im Alpenraum durchgefuehrt wurde, naemlich die Abfolge der abflussreichsten Monate als Typisierungskriterium zu verwenden, ist im Mittelland und im Jura nicht moeglich. Gerade in tieferen Lagen unterscheiden sich einerseits die maximalen und andererseits die minimalen Abflusskoeffizienten nur wenig. Wegen der hohen Variationskoeffizienten sind die Unterschiede nicht sehr aussagekraeftig.
2. SCHMIDT(1981), der eng an PARDE(1933) anlehnt, beschreibt seine Regimetypen recht detailliert, indem er fuer einzelne Monate die Abflusskoeffizienten auch quantitativ festlegt. Die Typisierungskriterien sind dadurch sehr starr und lassen sich mit den grossen Variabilitaeten der Mittelland- und Juragewaesser nur schlecht in Einklang bringen. Die Abflüsse des Untersuchungsgebietes zeigen neben Allgemeingueltigem eine starke Individualitaet, denen nur eine Typisierung gerecht wird, die das Gemeinsame erfasst und die Details beschreibend, nicht typisierend, aufgreift. Wird naemlich die Typisierung von SCHMIDT ohne die Richtwerte fuer die Koeffizienten durchgefuehrt, fallen die Resultate viel besser aus (vgl. SCHMIDT 2 in Tabelle 1).
3. GRIMM(1968,1) beschreitet einen einfacheren Weg: aufgrund der Lage des Maximums, des Nebenmaximums und des Minimums koennen die meisten Flussgebiete des Untersuchungsraumes einem Typ zugeordnet werden. Die mittlere jaehrliche Abflussspende als zusaetzliches Typisierungskriterium ist eher beschreibend aufzufassen, da die Wertebereiche fuer die einzelnen Typen weit gefasst sind und sich stark ueberschneiden.
4. Bei den Regimes des Untersuchungsgebietes handelt es sich um komplexe Regimes mit einem mehrgipfligen Kurvenverlauf. Das Hauptmaximum faellt ausnahmslos auf das Fruehjahr, das Minimum auf die Monate Dezember-Februar oder Juli-Oktober. Das Nebenmaximum wird im November oder Dezember registriert; die ausserordentlich hohen Variationskoeffizienten in den betreffenden Monaten (70-100 %) lassen jedoch das zeitliche Auftreten desselben als Typisierungskriterium wenig sinnvoll erscheinen. Auch GRIMM(1968,1) verzichtet bei seiner Typisierung auf eine detaillierte Angabe: seine pluvialen Regimes im mittellaendisch-jurassischen Raum zeigen ein sekundaeres Maximum im "Herbst".

Die Resultate der Untersuchungen von GRIMM(1968,1) und modifiziert von SCHMIDT(1981) deuten an, dass bei einer Mittelwertsbetrachtung durch die Beschreibung der Lage von Maximum und Minimum die Abflüsse aus mittellaendischen und jurassischen Einzugsgebieten typisiert werden koennen. In "M 1.2. Allgemeine Problematik des Untersuchungsraumes" wurde die schlechte zeitliche Repraesentativitaet der Mittelwertskurve beschrieben. Es konnte aber gezeigt

werden, dass es sinnvoll ist, die Typisierung ueber die Mittelwertskurve vorzunehmen, da sie eine grosse räumliche Repräsentativität besitzt: Einzugsgebiete mit ähnlichem Verhalten im Einzeljahr weisen naemlich ähnliche mittlere Regimekurven auf. Trotzdem stellt sich die Frage, ob nicht auch vom Einzeljahr her Typisierungskriterien bestehen. So werden deshalb im folgenden zusaetzlich die Moeglichkeiten einer Regimetypisierung ueber die Einzeljahre untersucht und dargestellt.

M 3.1. TYPISIERUNGSANSAETZE AUSGEHEND VON EINZELJAHREN

Die schlechte zeitliche Repräsentativität der mittleren Abflussregimes des Untersuchungsraumes aeussert sich unter anderem in der zeitlichen Verteilung der Maxima und der Minima der Einzeljahre. In Figur 9 werden alpinen Fließgewässern mittellaendische und jurassische unter diesem Aspekt gegenuebergestellt:

Im alpinen Raum entfallen oftmals 80-90 % der Maxima der Einzeljahre auf nur zwei Monate; das Auftreten der Minima streut etwas mehr, verteilt sich aber dennoch in 60-70 % der Faelle auf zwei Monate. Das Auftreten maximaler Monatsabfluesse ist zeitlich beschraenkt auf die Monate April bis August, das minimaler Abfluesse auf die Monate November bis April (Beispiele Gornernbach und Engelberger Aa).

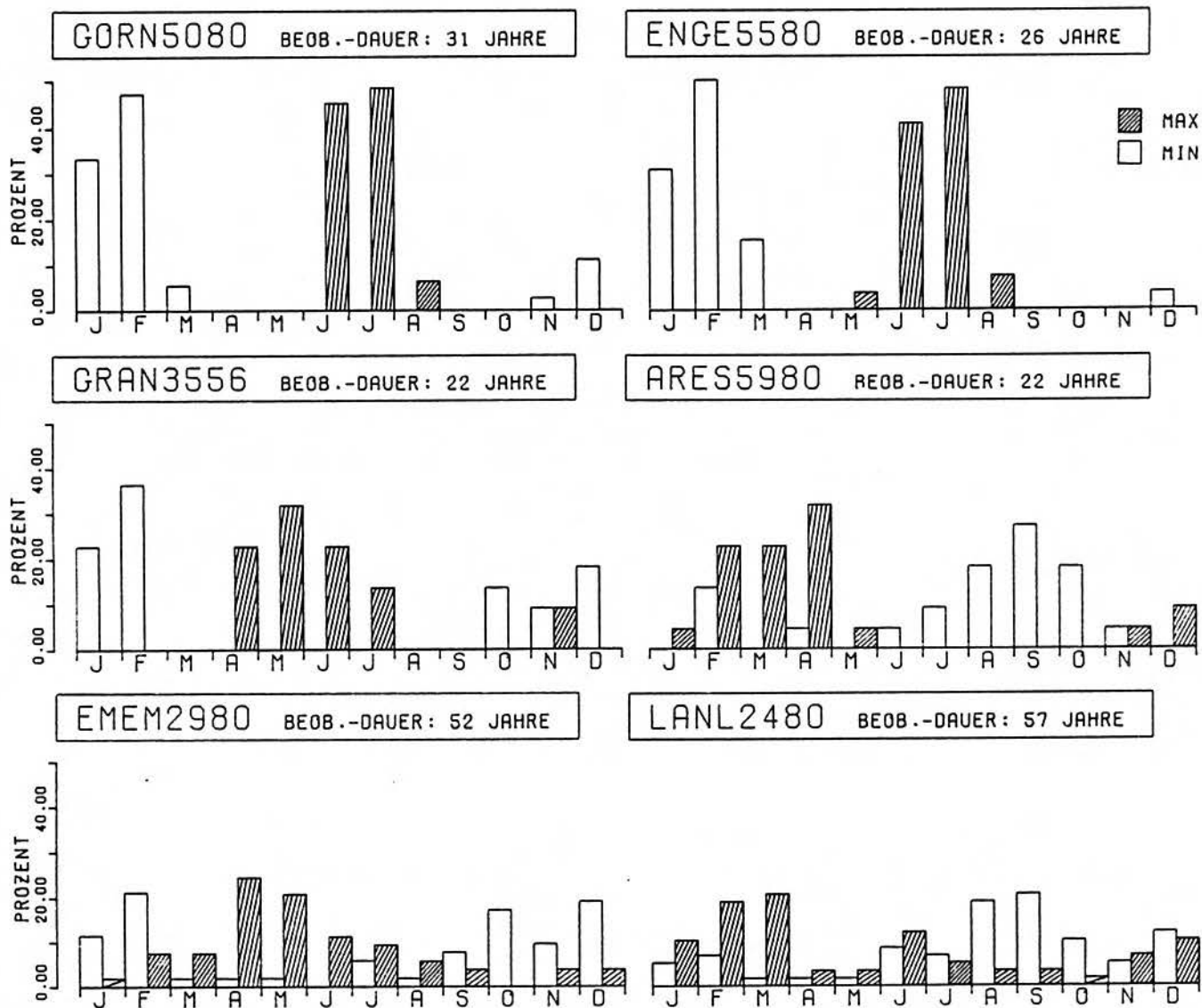
Dieses Bild aendert, wenn wir die Verteilungen von Abflussmaxima und -minima der Mittelland- und Jurafluesse betrachten: An den Beispielen des Jura (Areuse) und des Alpenrandes (Grande Eau) erkennt man noch eine Verwandtschaft mit den alpinen Gewaessern. Maxima und Minima sind weiterhin an wenige Monate gebunden, aber die eindeutige Dominanz gewisser Monate fehlt. Das sekundaere Maximum im Herbst kann im Einzeljahr das Fruehjahresmaximum uebertreffen.

Diese Grundstruktur in den Verteilungen der Maxima und der Minima bleibt in den Voralpen und im Mittelland (Emme und Langete) nicht erhalten. Die Beispiele zeigen, dass im Einzeljahr das Maximum und das Minimum in jedem beliebigen Monat auftreten koennen.

Da im Untersuchungsraum die Dominanz einzelner Monate weitgehend fehlt, kann die Verteilung von Maximum und Minimum nicht als Typisierungskriterium verwendet werden.

Als Kriterium, das das zeitliche Auftreten von Maximum und Minimum ausser acht laesst, aber deren Ausmass erfasst, bietet sich die Differenz zwischen den maximalen und den minimalen Abflusskoeffizienten an. Die Deltawerte der Einzeljahre aller repraesentativen Stationen des Untersuchungsgebietes sind in Figur 10 als Saeulendiagramme dargestellt. Neben dem Mittelwert (als Strich angedeutet), dem maximalen und dem minimalen Delta der Beobachtungsperiode ist zu Vergleichszwecken die mittlere Einzugsgebietshoehe neben den Deltawerten aufgezeichnet. Es faellt auf:

- Die minimalen Deltawerte der Abflussregimes des Untersuchungsraumes streuen im Vergleich zu den maximalen Deltawerten bedeutend weniger. Sie schwanken um den Wert 1.0 (0.42-1.54). Kleinste minimale Werte im Einzeljahr zeigen die Langete (0.42), groesste Werte die Aach (1.54), die Thur (1.49) und die Alp (1.49).
- Die Variationsbreite der maximalen Deltawerte (1.77-4.80) ist differenzierter. Groesste Werte im Einzeljahr erreichen die Broye (4.80), die Venoge (4.77) und die Ergolz (4.62), kleinste Werte wiederum die Langete (1.80). Auch in extrem unausgeglichene Jahren betraegt die Variations-



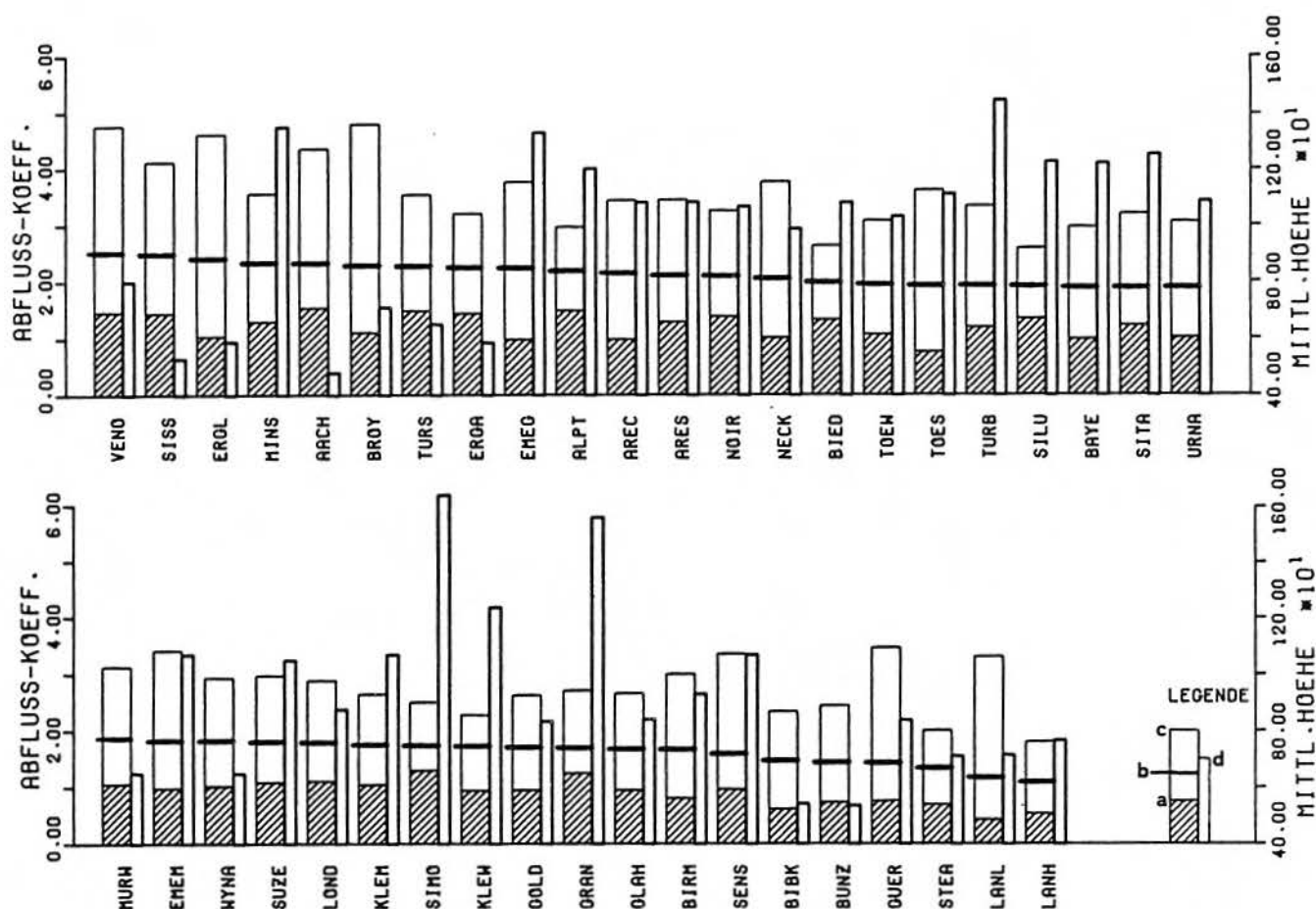
Figur 9. Prozentuale Verteilung des Auftretens von Maximum und Minimum der Einzeljahre

| | | | |
|----------|----------------|-------------|---------|
| GORN5080 | Gornernbach | Kiental | 1950-80 |
| ENGE5580 | Engelberger Aa | Engelberg | 1955-80 |
| GRAN3556 | Grande Eau | Aigle | 1935-56 |
| ARES5980 | Areuse | St. Sulpice | 1959-80 |
| EMEM2980 | Emme | Emmenmatt | 1929-80 |
| LANL2480 | Langeten | Lotzwil | 1924-80 |

breite der Monatsabflüsse des letztgenannten Flussgebietes also nicht einmal 2 MQ(Jahr).

- Die mittleren Delta der Flussgebiete liegen zwischen 1.10 (Langeten) und 2.53 (Venoge). Ihre Variationskoeffizienten reichen von 15 % (Simme) bis 41 % (Langeten).

Was mit der Darstellung der mittleren Einzugsgebietshöhe in Figur 10 angezeigt wird, bestaetigt Figur 11 vollends: zwischen der mittleren Einzugsgebietshöhe und den verschiedenen Deltawerten der Einzeljahre besteht kein signifikanter Zusammenhang. Wohl lassen sich generelle Tendenzen, wie etwa die Abnahme der maximalen Deltawerte mit zunehmender Höhe, erkennen, doch kann mit einer Typisierung, die auf diesen Deltawerten beruht, kein einfacher Raumbezug hergestellt werden. Damit wird aber auch eine Abschaetzung der Abflüsse an Stellen

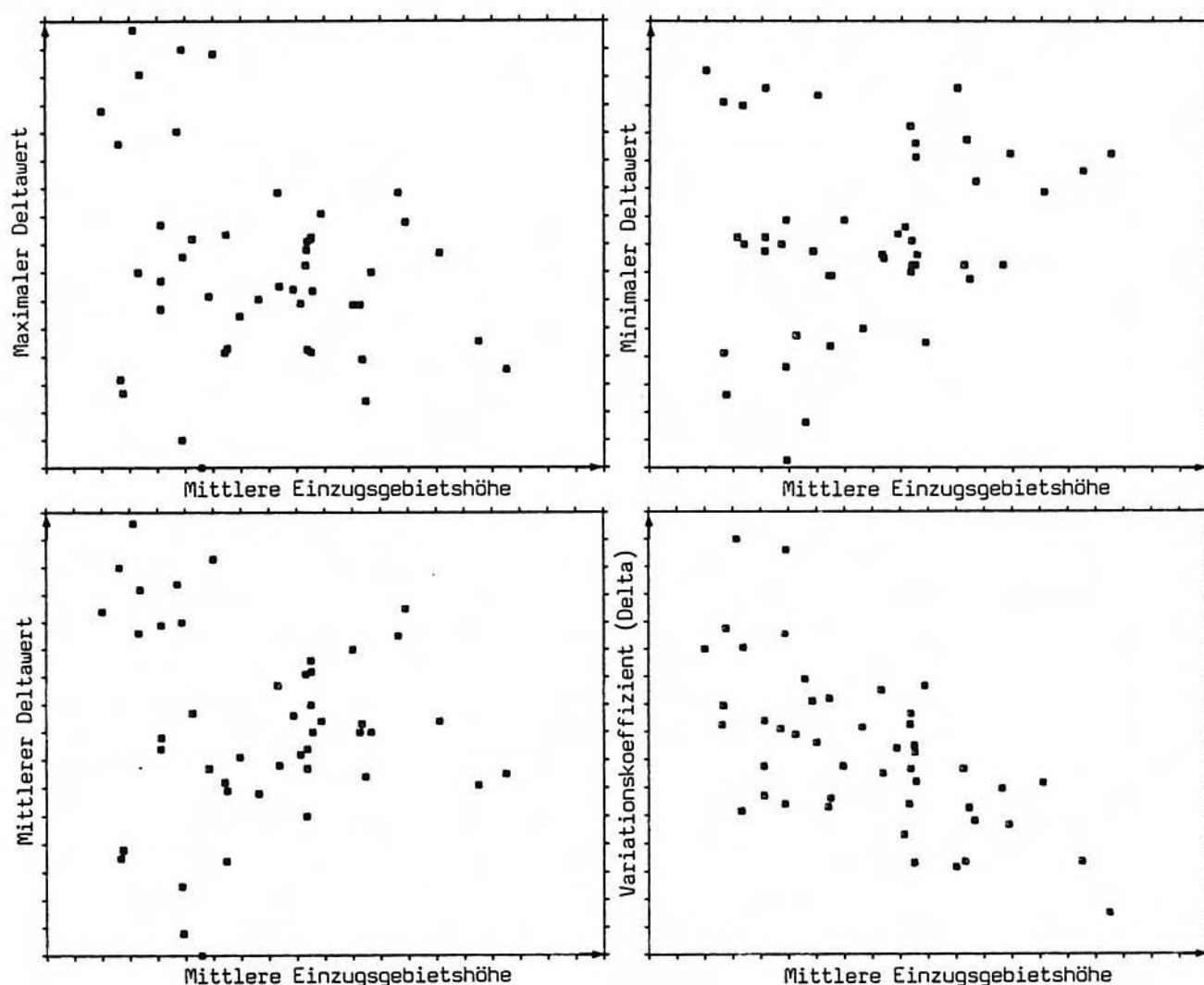


Figur 10. Darstellung maximaler und minimaler Deltawerte im Untersuchungsraum
 a minimaler jaehrlicher Deltawert der Beobachtungsperiode
 b mittlerer jaehrlicher Deltawert der Beobachtungsperiode
 c maximaler jaehrlicher Deltawert der Beobachtungsperiode
 d mittlere Einzugsgebietshoehe

ohne Direktmessung ueber eine hydrologische Raumgliederung verunmoeglicht, wenn die Beziehung Raum-Regime nicht quantifizierbar ist.

Auch die Verwendung eines Quotienten MINIMUM/MAXIMUM als Typisierungskriterium liefert den wuenschbaren Raumbezug nicht. Es wird somit offenbar, dass die Abflussverhaeltnisse im Einzeljahr vom Niederschlagsgeschehen, von der Geologie, der Bodennutzung usw. abhaengen, und nicht mehr durch die mittlere Einzugsgebietshoehe erklart werden koennen. Im Einzeljahr verliert die mittlere Einzugsgebietshoehe ihren integralen Charakter zur Erfassung der klimatischen Verhaeltnisse. Sie darf nur zur Erklaerung von langjaehrigen Mittelwerten herangezogen werden. Dies mag als weiterer Hinweis darauf verstanden werden, trotz der schlechten Repraesentativitaet eine Typisierung aufgrund der Mittelwerte anzustreben, um den notwendigen Raumbezug herzustellen.

Als weitere Moeglichkeit wird geprueft, inwieweit die Variationskoeffizienten der Monatsabfluesse Typisierungskriterien liefern koennten. Dazu sind in Figur 13 die Abflussregimes und der Gang der Variationskoeffizienten einiger Fluesse des Untersuchungsraumes dargestellt. Zu Vergleichszwecken mit den Regimes und den Verhaeltnissen im Alpenraum dient Figur 12.



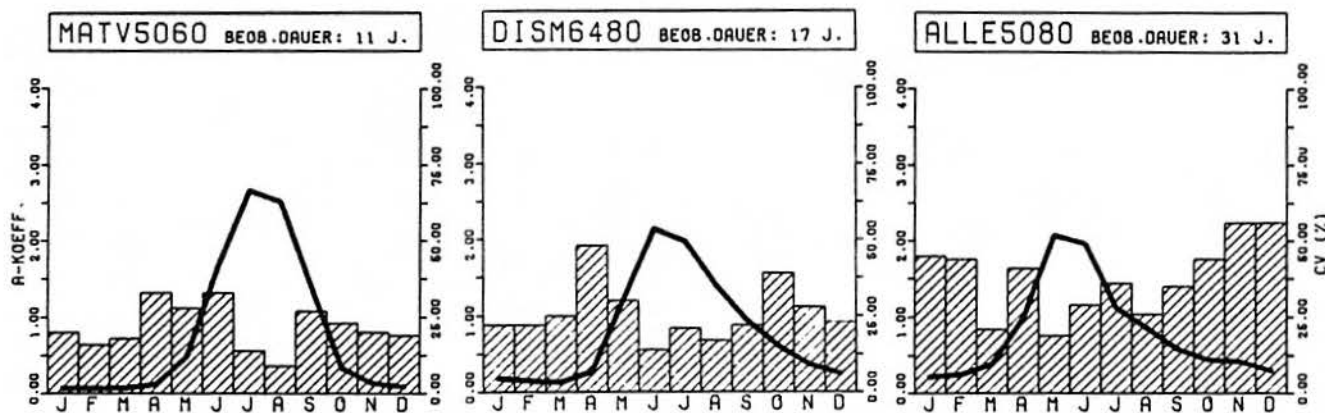
Figur 11. Zusammenhang zwischen mittlerer Einzugsgebietshöhe und verschiedenen Deltawerten

Die Analyse und der Vergleich der beiden Abbildungen zeigt folgendes:

- Im Alpenraum weisen die Monatskoeffizienten sowohl im Bereich des Maximums wie auch im Bereich des Minimums kleine Variationskoeffizienten auf. Im Mittelland kann nur noch der Bereich des Abflussmaximums als relativ stabil angesehen werden.
- Die Variationskoeffizienten im Bereich des Maximums liegen im Untersuchungsraum deutlich höher als im Alpenraum:

| | |
|--------------|---------|
| • Alpenraum | 15-20 % |
| • Voralpen | 25-35 % |
| • Mittelland | 35-45 % |
| • Jura | 35-45 % |
- Die größten Variationskoeffizienten (70-90 %) entfallen im Untersuchungsraum auf das sekundäre Abflussmaximum im November, im alpinen Raum allgemein auf die Herbstmonate, wo sich bekanntlich kein sekundäres Maximum ausbildet.

- Im allgemeinen nehmen die Variationskoeffizienten mit der Entfernung zum Alpenkamm zu: die durchschnittlichen Werte im Jura uebersteigen 60 %.



Figur 12. Regime und Variationskoeffizienten im Alpenraum:

| | | |
|----------|-----------------------|---------|
| MATV5060 | Matter Vispa, Zermatt | 1950-60 |
| DISM6480 | Dischmabach, Davos | 1964-80 |
| ALLE5080 | Allenbach, Adelboden | 1950-80 |

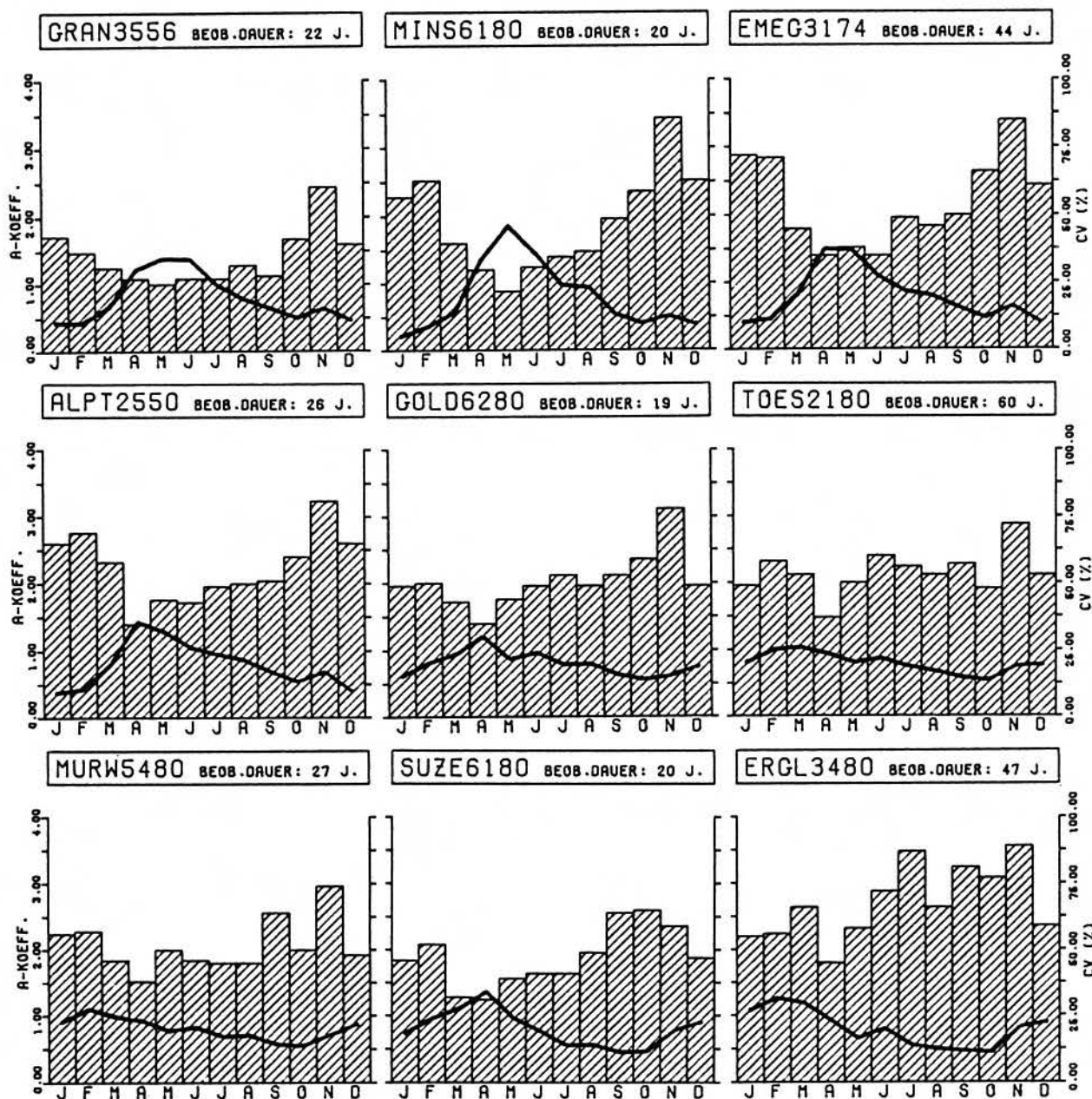
Trotz diesen allgemein gueltigen Feststellungen ist der Gang der Variationskoeffizienten im Untersuchungsraum zu wenig differenziert, als dass man Typisierungskriterien ableiten koennte. Zudem fehlt auch hier ein eindeutiger, einfacher Raumbezug: auf einem Punktediagramm der mittleren Einzugsgebietshoehen mit den durchschnittlichen Variationskoeffizienten erkennt man wohl eine Abnahme der Schwankungen gegen den Alpenraum hin, aber der Zusammenhang erweist sich statistisch nicht als signifikant.

Fazit

Aufgrund der Untersuchungen von wichtigen Kenngrößen von Einzeljahren darf festgehalten werden, dass die mittlere Einzugsgebietshoehe ihre bedeutende Stellung als integrale Erklärungs-möglichkeit fuer das Abflussverhalten verliert. Eine einfache Beziehung Regime des Einzeljahres - Raum existiert nicht. In Hinblick auf die Zielsetzung der Abschaetzung der Abfluesse an Stellen ohne Direktmessung ueber eine hydrologische Raumgliederung muss deshalb auf eine Regimetypisierung ausgehend von Einzeljahren verzichtet werden, zumal die in diesem Kapitel aufgefuehrten Datenanalysen auch keine zwingenden Kriterien erkennen lassen.

In einem fruerehen Kapitel wurde die raeumliche Repraesentativitaet der Mittelwertskurve angesprochen. Es kann erwartet werden, dass bei einer Typisierung der Mittelwertskurve ueber das Maximum und das Minimum ein einfacher Raumbezug hergestellt werden kann.

Die folgenden Kapitel schildern die Typisierung der Abfluesse aus Einzugsgebieten des Untersuchungsraumes und zeigen einen Weg auf, wie diese Regimetypen raeumlich umgesetzt werden koennen.



Figur 13. Regime und Variationskoeffizienten im Untersuchungsraum:

| | | |
|----------|-------------------|---------|
| GRAN3556 | Grande Eau, Aigle | 1935-56 |
| MINS6180 | Minster, Euthal | 1961-80 |
| EMEG3174 | Emme, Eggiwil | 1931-74 |
| ALPT2550 | Alp, Trachslau | 1925-50 |
| GOLD6280 | Goldach, Goldach | 1962-80 |
| TOES2180 | Toess, Neftenbach | 1921-80 |
| MURW5480 | Murg, Waengi | 1954-80 |
| SUZE6180 | Suze, Sonceboz | 1961-80 |
| ERGL3480 | Ergolz, Liestal | 1934-80 |

M 3.2. TYPISIERUNG DER MITTELWERTSKURVE

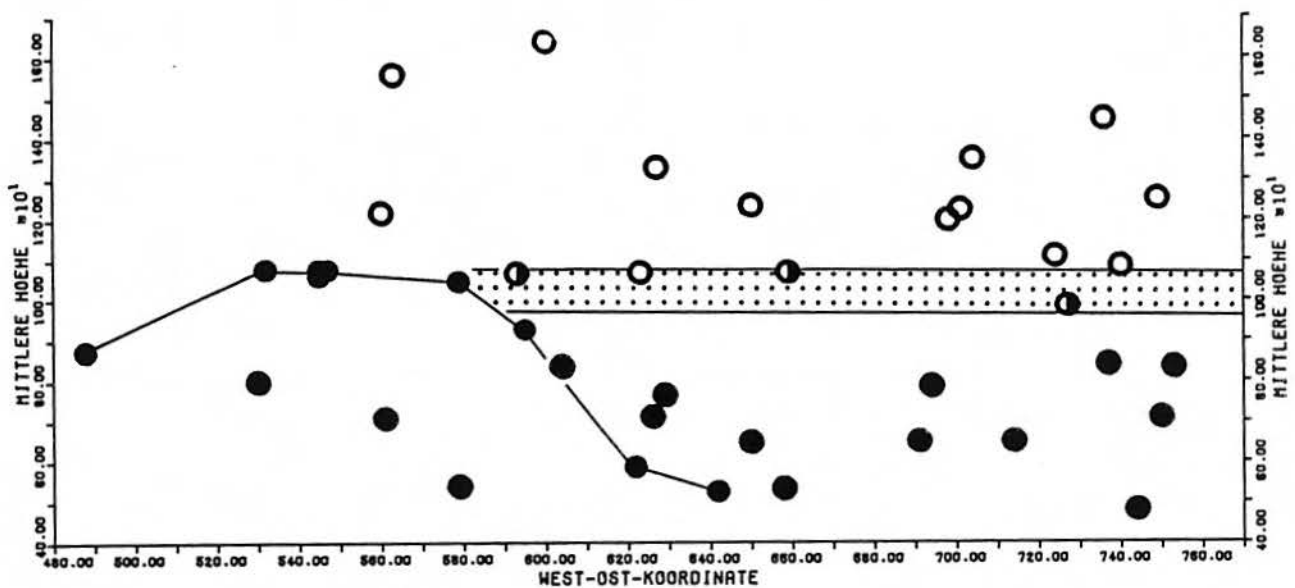
Das Studium der bisherigen Typisierungsversuche (GRIMM 1968,1, SCHMIDT 1981, GUILCHER 1965) und die Analyse der zur Verfügung stehenden Daten der repräsentativen Stationen haben gezeigt, dass aufgrund

1. der Lage des Minimums
2. der Lage des abflussreichsten Doppelmonats und
3. der Differenz zwischen maximalem und minialem Abflusskoeffizient einer langjaehrigen Beobachtungsperiode

die Abflussregimes des Mittellandes und des Jura gut typisiert werden koennen. Nach unseren Erfahrungen mit den Untersuchungen von SCHMIDT(1968) verzichten wir darauf, weitere Details der mittleren Regimekurve in die Typisierung aufzunehmen. Vielmehr wird versucht, das Allgemeinguelte des Abflussverhaltens dieser Fliessgewaesser hervorzuheben und die Details in Kapitel M 4 aufzugreifen.

Lage des Abflussminimums

Im Bereich des Minimums ist die Frage entscheidend, ob das Abflussminimum im Sommer- oder im Winterhalbjahr liegt. Fuer den Untersuchungsraum laesst sich dieser Bereich noch etwas einengen: in den hoeheren Lagen tritt das Minimum bedingt durch die winterliche Retention in den Monaten Dezember bis Februar ein, im uebrigen Gebiet des Untersuchungsraumes infolge von hoeheren Verdunstungsverlusten erst in den Monaten Juli bis Oktober. Wegen der hohen Variationskoeffizienten der Monatsabfluesse muss auf ein Typisierungskriterium, das die Lage des Minimums zeitlich mehr differenziert, verzichtet werden.



Figur 14. Raeumliche Verteilung der Abflussminima:

- Abflussminimum im Winterhalbjahr
- Abflussminimum im Sommerhalbjahr
- ⋯ Uebergangsbereich
- ① Identische Abflussminima im Sommer- u. Winterhalbjahr
- Stationen im Jura (Sommerminimum)

Die raeumliche Verteilung der Lage des Abflussminimums in einem Hoehen-West/Ost-Diagramm zeigt Figur 14. Durch die Lage des Minimums, entsprechend der im Mittel ueberwiegenden winterlichen Retention bzw. sommerlichen Verdunstung, erreicht man eine deutliche Aufteilung der Regimes in zwei Gruppen. Ein Uebergangsbereich bildet sich zwischen 950-1050 m mittlerer Einzugsgebietshoehe aus, wo in vielen Faellen (Sense, Neckar, Kl. Emme) zwei, im Ausmass identische Minima im Januar/Februar und in den Sommermonaten auftreten. Die Ausnahme stellen die Juragewaesser dar, die auch in hoeheren Lagen immer ein ausgepraegtes Sommerminimum aufweisen.

Lage des abflussreichsten Doppelmonats

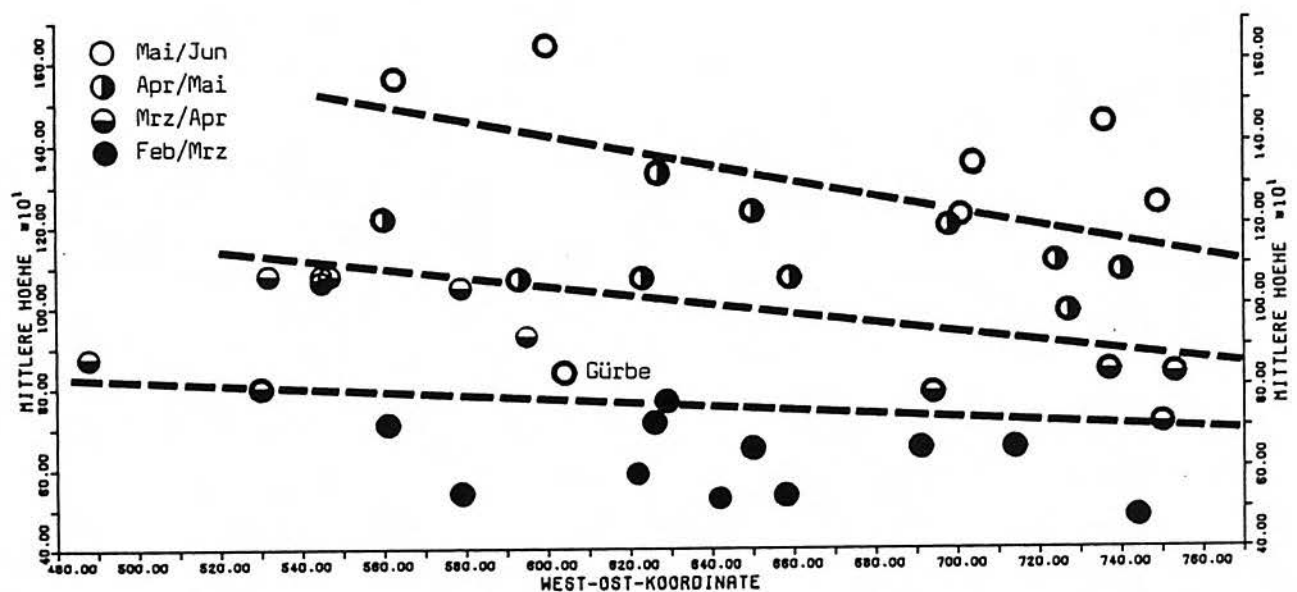
Durch die Verschiedenheit der Einzeljahre entstehen bei der Mittelwertsbildung Ganglinien mit einem grosseren Spektrum als im Alpenraum. Die durch staerkere Schwankungen resultierenden hohen Variationskoeffizienten verunmoeglichen die Angabe der Abfolge der abflussreichsten Monate als Typisierungskriterium, da i. allg. die Mittelwertsvergleiche nicht-signifikant ausfallen. Am einfachsten wird der Bereich maximaler Wasserfuehrung durch die Angabe der Lage des maximalen Doppelmonats erfasst. In Anlehnung an GRIMM(1968,1) wird unter Doppelmonat die Summe der Abflusskoeffizienten zweier benachbarter Monate verstanden.

Unter Einbezug der Lage des Abflussminimums treten im Untersuchungsraum folgende Kombinationen auf:

| Lage des Abflussminimums | Lage max. Doppelmonat |
|--------------------------|-----------------------|
| Dez, Jan, Feb | Mai/Jun Apr/Mai |
| Jul-Okt | Mrz/Apr Feb/Mrz |

Die Lage des maximalen Doppelmonats erlaubt es also, die durch die Lage des Minimums gefundene Grobgliederung weiter zu differenzieren. Aus den beobachteten Kombinationen ist ersichtlich, dass sich Maximum und Minimum gegenseitig bedingen: ein Abflussminimum zwischen Dezember und Februar bedingt ein Maximum zwischen April und Juni; ein frueheres Maximum tritt nur in Zusammenhang mit einem Sommerminimum auf.

Die raeumliche Umsetzung der Lage des maximalen Doppelmonats liefert ein Verteilungsmuster, das in Figur 15 festgehalten ist. Neben der Hoeohenabhaengigkeit tritt neu eine West-Ost-Differenzierung auf: vom Maximum und Minimum her vergleichbare Regimetypen liegen in der Westschweiz hoeher als in der Ostschweiz.

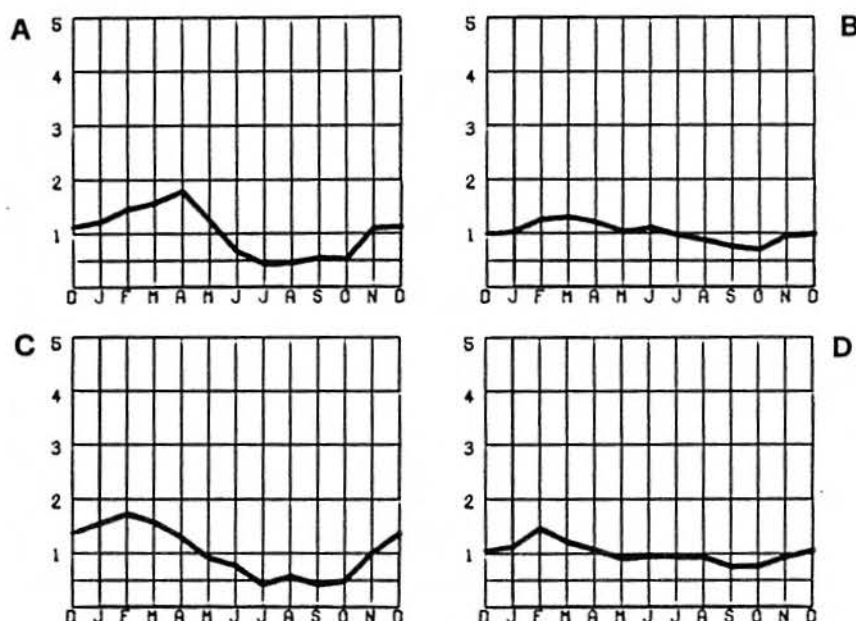


Figur 15. Raeumliche Verteilung des maximalen Doppelmonats

Nicht in dieses Verteilungsmuster des maximalen Doppelmonats passt die Guerbe bei Belp: Abflussspitzen im Mai/Juni werden i. allg. erst ab 1400 m mittlere Einzugsgebietshoehe registriert (Guerbe: 837 mueM). Eine Analyse des Einzugsgebietes zeigt, dass die Guerbe wegen den grossflaechigen Drainagen und den zunehmenden Wasserableitungen nicht mehr unbedingt als natuerliches Gewaesser gelten kann (SCHAEDLER 1984). Im jetzigen Zeitpunkt ist es allerdings nicht moeglich, den 'Spezialfall' Guerbe kausal zu erklaren, zumal z.B. auch ihr Einzugsgebiet bis gegen 2200 mueM. hinaufreicht, vergleichbare Einzugsgebiete in der Ostschweiz mit derselben mittleren Hoehe aber kaum 1300 mueM erreichen.

Differenz maximaler-minimaler Abflusskoeffizient

Wie Figur 16 zeigt, unterscheiden sich die Fliessgewaesser mit den Sommerminima und den maximalen Doppelmonaten Febr/Mrz oder Mrz/Apr in einem weiteren Punkt, naemlich der Variationsbreite der Abflusskoeffizienten. Es draengt sich auf, diese Differenz zwischen maximalem und minimalem Abflusskoeffizient als Typisierungskriterium aufzugreifen.



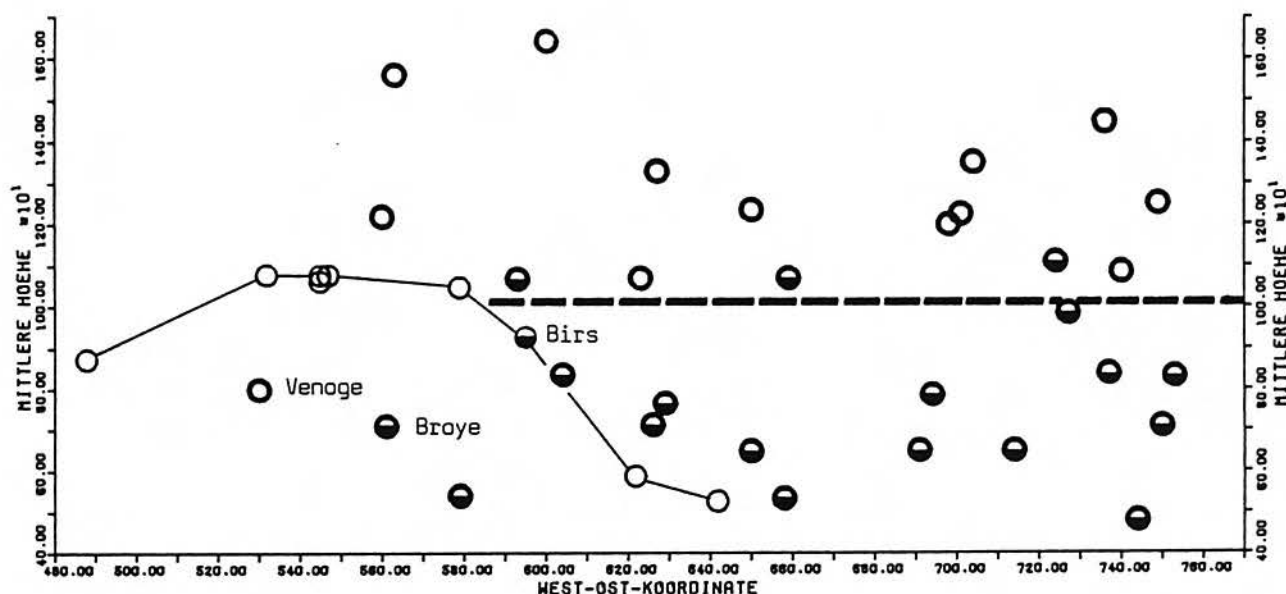
Figur 16. Variationsbreite ausgewaehlter Abflussregimes:

| | | | |
|---|--------------------|----------|------------|
| A | Venoge, Lussery | 800 mueM | Delta=1.36 |
| B | Toess, Neftenbach | 810 mueM | Delta=0.61 |
| C | Sisseln, Eiken | 529 mueM | Delta=1.30 |
| D | Buenz, Otmarsingen | 533 mueM | Delta=0.71 |

Als Schwellenwert fuer die Zuordnung zu einer Gruppe wird der Wert 1.0 gewaehlt: ist die Variationsbreite kleiner als eins, so unterscheiden sich die langjaehrigen Abflussmittelwerte (Monatsmittel) um weniger als 1 MQ(Periode); die langjaehrige Mittelwertskurve ist sehr ausgeglichen.

Die raeumliche Verteilung der Variationsbreite (Figur 17) zeigt im Bereich der Fliessgewaesser mit Sommerminima keine Hoehenabhaengigkeit mehr. Vielmehr ist ein regionales Muster erkennbar. Mit Ausnahme der Birs bei Moutier zeigen alle Stationen des Falten- und des Tafeljura, sowie die Venoge in der Westschweiz eine Variationsbreite, die 1 MQ(Periode) ueberschreitet.

Das Abflussregime der Birs bei Moutier ist auch von SCHMIDT(1981:23) als "regime exceptionnel" erkannt worden. Er schreibt das ausgeglichene Regime den



Figur 17. Räumliche Verteilung der Variationsbreiten:

- Uebergangsbereich Sommerminimum-Winterminimum
- Stationen im Jura
- Variationsbreite > 1 MQ(Periode)
- Variationsbreite < 1 MQ(Periode)

karsthydrologischen Verhältnissen mit unterirdisch entwaessernden Becken zu, die eine Daempfung der Abflusskurve verursachen.

Die mutmassliche Grenze zu den ausgeglichenen Regimes wird durch die Broye gebildet ($\Delta=0.92$). Die weiter oestlich liegenden Flussgebiete (Biberenkanal, Langete, Wyna) weisen schon deutlich kleinere Variationsbreiten auf. Diese Grenze laesst sich auch klimatologisch begruenden: Die westwaerts gelegenen Gebiete sind mit mittleren Jahresniederschlaegen von weniger als 1000 mm trockener als die oestlichen Teile des Mittellandes (UTTINGER 1967). Erstere zeigen nach JEANNERET(1967) eine "Tendenz zur gelegentlichen Sommertrockenheit". Mit Ausnahme des nordoestlichsten Teils des Mittellandes (Kt. Schaffhausen) tritt diese Tendenz im Untersuchungsgebiet sonst nicht auf. Die Sommertrockenheit duerfte somit der Hauptgrund fuer die staerkere Auspraegung der mittleren Regimes sein (vgl. auch die maximalen Deltawerte der Einzeljahre: Broye und Venoge mit den groessten Werten).

Bei den hoeher gelegenen Flussgebieten mit Winterminima registriert man Variationsbreiten > 1 MQ(Periode). Ausnahmen bilden jene Flussgebiete zwischen 950-1050 m mittlerer Einzugsgebietshoehe, die zwei identische Minima (Winter und Sommer) aufweisen: Necker, Kl. Emme und Sense.

M 3.3. ANWENDUNG DER TYPISIERUNGSKRITERIEN

Die hierarchische Anwendung dieser Typisierungskriterien gemaess dem Entscheidungsbaum in Figur 18 fuehrt vorerst zu vier deutlich voneinander verschiedenen Regimetypen im Mittelland und im Jura. Verglichen mit den Regimetypen im Alpenraum sind die mittellaendischen und jurassischen Regimetypen relativ weit gefasst. Der Entscheidungsbaum zeigt auch, dass nicht alle Typisierungs-

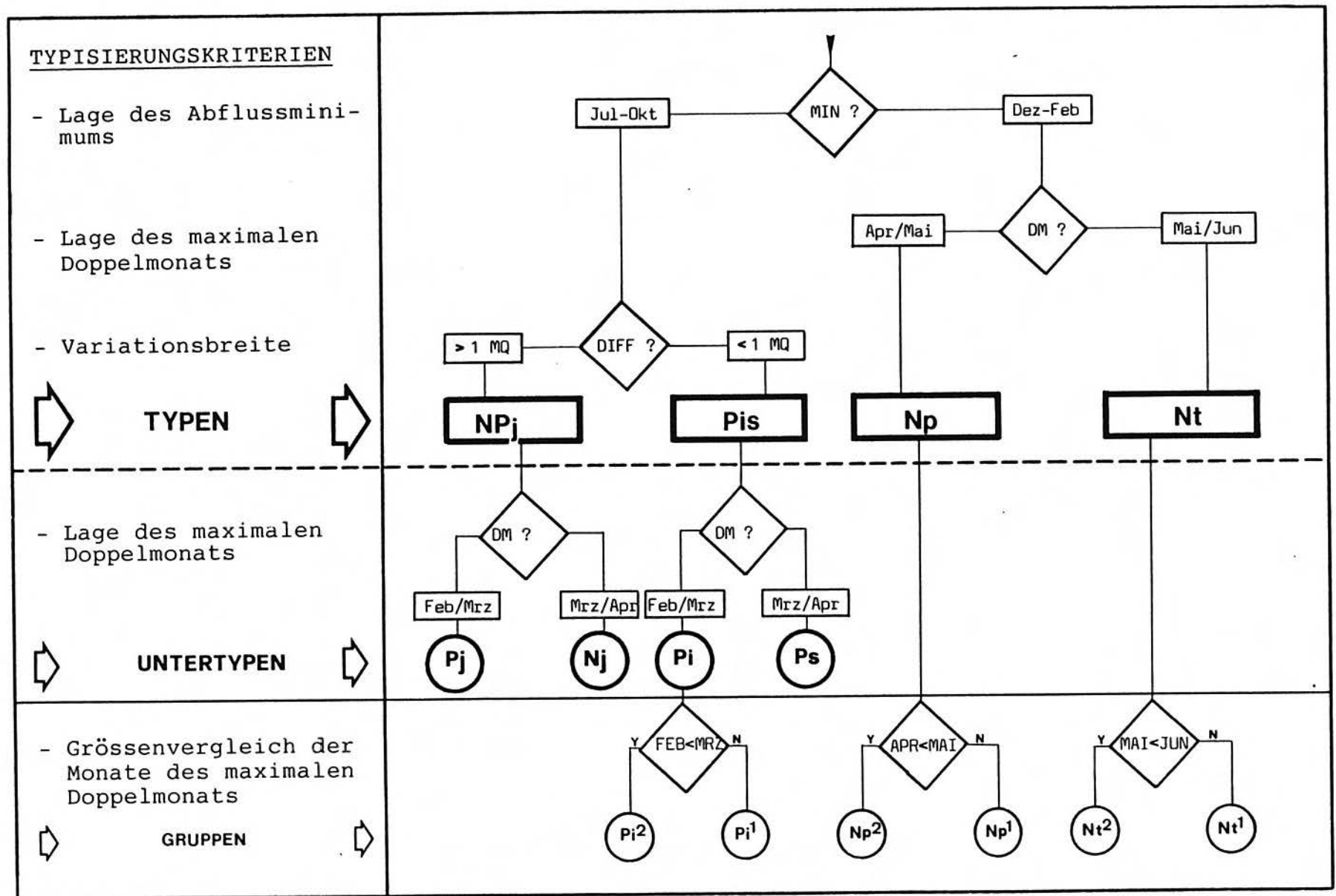
kriterien ganz ausgenutzt wurden (maximaler Doppelmonat). Es stellt sich somit die Frage, ob die Typen allenfalls noch weiter untergliedert werden koennten. Sie laesst sich nicht ohne weiteres positiv beantworten. Eine Bildung von Untertypen hat im Hinblick auf die Abschaetzung des Abflusses an Stellen ohne Direktmessung nur dann einen Sinn, falls es gelingt, diese Untertypen raeumlich umzusetzen. Dies ist nur noch bei den Regimetypen mit den Minima im Sommerhalbjahr moeglich. Durch die Lage des maximalen Doppelmonats lassen sich diese Typen in je zwei Untertypen gliedern, die eng mit der mittleren Einzugsgebietshoehe korrelieren: in den hoeheren Lagen tritt das Abflussmaximum im Doppelmonat Maerz/April ein, in den tieferen Lagen schon im Februar/Maerz. Fuer die Einzugsgebiete mit Abflussminima im Winterhalbjahr ist ein solcher Raumbegzug nicht mehr gegeben. Sie lassen sich nicht sinnvoll weiter untergliedern.

Somit treten im Untersuchungsraum die folgenden sechs Regimetypen bzw. Untertypen auf:

1. Minimaler Abfluss im Winterhalbjahr, max. Doppelmonat Mai/Juni
==> 'régime nival de transition'
2. Minimaler Abfluss im Winterhalbjahr, max. Doppelmonat April/Mai
==> 'régime nivo-pluvial préalpin'
3. Variationsbreite < 1 MQ(Periode)
 - a. Minimaler Abfluss im Sommerhalbjahr, max. Doppelmonat Maerz/April
==> 'régime pluvial supérieur'
 - b. Minimaler Abfluss im Sommerhalbjahr, max. Doppelmonat Februar/Maerz
==> 'régime pluvial inférieur'
4. Variationsbreite > 1 MQ(Periode)
 - a. Minimaler Abfluss im Sommerhalbjahr, max. Doppelmonat Maerz/April
==> 'régime nivo-pluvial jurassien'
 - b. Minimaler Abfluss im Sommerhalbjahr, max. Doppelmonat Februar/Maerz
==> 'régime pluvial jurassien'

Mit den drei Typisierungskriterien wird das Wesentliche des Abflussverhaltens erfasst. Eine weitergehende Typisierung greift Details auf, die nur unter Einbezug der Niederschlagsverhaeltnisse und der physiographischen Eigenschaften der Einzugsgebiete erklarbar sind und keine Allgemeingultigkeit mehr besitzen. Gleichwohl ist es aber interessant, die Spannweite dieser Regimetypen und -untertypen mit einer vertieften Analyse der Daten abzustecken (Bildung von Gruppen). Dafuer verwenden wir die Lage der Monate des maximalen Doppelmonates zueinander (vgl. Figur 18). Auch wenn ein solcher einfacher Groessenvergleich die statistische Signifikanz ausser acht laesst, sind die damit erzielten Resultate sehr gut, da zwischen den maximalen Abflusskoeffizienten und der Haeufigkeitsverteilung des Auftretens maximaler Abfluesse eine enge Beziehung besteht. Auf diesen Teilaspekt der Typisierung wird an andere Stelle noch eingegangen.

Fuer die Bezeichnung der mittellaendischen und jurassischen Regimetypen verwenden wir Begriffe, die die Steuerfaktoren und den Raum ansprechen. In der herkoemmlichen Terminologie gehoeren alle Regimes des Untersuchungsraumes zum nivopluvialen, pluvionivalen oder pluvialen Typ. Obwohl diese auf PARDE(1933) zurueckgehenden Begriffe viel gebraucht werden, sind sie nicht klar definiert und von verschiedenen Autoren auch unterschiedlich verwendet worden. Um eine feinere Differenzierung des Untersuchungsraumes zu erhalten, draengt es sich deshalb auf, die Bezeichnung der Steuermechanismen mit einem Raumbegriff zu



NPj régime nivopluvial et pluvial jurassien
 Pis régime pluvial supérieur et inférieur
 Np régime nival préalpin
 Nt régime nival de transition

Nj régime nivopluvial jurassien
 Pj régime pluvial jurassien
 Pi régime pluvial inférieur
 Ps régime pluvial supérieur

Figur 18. Entscheidungsbaum fuer die mittellaendischen und jurassischen Gewaesser

ergaenzen, wie das auch KELLER(1968) vorgeschlagen hat, wenn er z.B. von einem "nivalen Regime des tieferen Berglandes" spricht. Wegen ihrer Praegnanz faellt die Wahl auf franzoesische Begriffe. Die Nomenklatur von GRIMM(1968,1) - Verwendung von Typfluessen fuer die Bezeichnung der Regimetypen - scheint uns interessant; die Bestimmung des namengebenden Flusses ist aber doch sehr problematisch. Auch wenn die Steuermechanismen der einzelnen Regimetypen nicht bis ins letzte Detail bekannt sind, so werden bei unseren Begriffen doch die wesentlichen Grundmechanismen des saisonalen Abflussverhaltens angesprochen, was bei der Typbezeichnung von GRIMM verlorengeht.

M 3.4. UEBERPRUEFUNG DER TYPISIERUNG

Mit Hilfe einer multivariaten Diskriminanzanalyse kann gezeigt werden, dass die durch die oben beschriebenen Typisierungskriterien gebildeten Regimetypen und -untertypen des Mittellandes und des Jura auf echten, nicht zufaellig bedingten Unterschieden beruhen. Als Datengrundlage fuer dieses mehrdimensionale Verfahren dienen die monatlichen Abflusskoeffizienten. Zur Diskrimination der Typen tragen die Monate Februar, der je nach Typ den Maximal- oder den Minimalbereich des Abflusses beschreibt, und April (Maximum bei hoeher gelegenen Einzugsgebieten) am meisten bei. Die Monate November und Dezember (sekundaere Maxima), September (Minimum der Abfluesse aus tiefer gelegenen Einzugsgebieten) und Januar (Minimum des 'régime nival de transition' und 'régime nivo-pluvial préalpin') werden ebenfalls in die Diskriminanzfunktion einbezogen. Dies zeigt, dass neben den Lageparametern des Maximums und des Minimums als hauptsaechlichste Typisierungskriterien auch deren Ausmass bei multivariater Betrachtung zu einer Differenzierung fuehrt. Somit erweist sich die oben beschriebene Typisierungsmethode als geeigneter Ansatz, um die Abfluesse aus mittellaendischen und jurassischen Einzugsgebieten befriedigend zu typisieren.

Z U S A M M E N F A S S U N G

Durch die hierarchische Anwendung von drei Typisierungskriterien - Lage des Minimums, Lage des maximalen Doppelmonats und Differenz zwischen maximalem und minimalen Abflusskoeffizienten - gelingt es, die Fliessgewaesser des Mittellandes und des Jura aufgrund von langjaehrigen Beobachtungsreihen zu differenzieren. Die Typisierungsschritte sind in einem Entscheidungsbaum (vgl. Figur 18) dargestellt. Es werden vier Regimetypen unterschieden, die einen Zusammenhang mit der mittleren Einzugsgebietshoehe erkennen lassen. Eine gewisse Modifikation tritt durch eine West-Ost-Differenzierung ein. Die Regimetypen mit Sommerminima beinhalten Untertypen; hingegen scheitert eine Untergliederung der nival beeinflussten Abflussregimes am fehlenden Raumbezug. Hier wird nur noch die Spannweite der Regimetypen aufgezeigt. Eine anschliessend an die Typisierung durchgefuehrte Diskriminanzanalyse beweist, dass die mit den obgenannten Kriterien gewonnenen Abflussregimetypen auf echten, nicht zufaeligen Unterschieden beruhen.

Die Abflussregimetypen und Untertypen werden im naechsten Kapitel vorgestellt.

M 4. DIE MITTELLAEENDISCHEN UND JURASSISCHEN ABFLUSSREGIMETYPEN

M 4.1. DAS 'REGIME NIVAL DE TRANSITION'

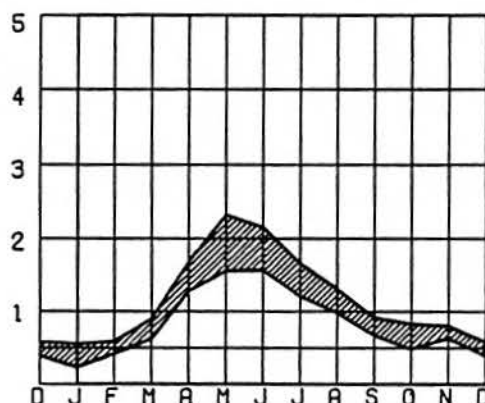
Das 'régime nival de transition' bildet den Uebergang von den alpinen Regimes zu den mittellaendischen. Es ist gekennzeichnet durch die Dominanz des Doppelmonates Mai/Juni und durch Minimalabflüsse in den Monaten Dezember bis Februar. Die Verwandtschaft zu den alpin-nivalen Regimes ist gross. Der wesentliche Unterschied liegt im Auftreten eines sekundären Maximums im November und in der zunehmenden Bedeutung des Monats April im Jahresgang des Abflusses.

Tabelle 8 vermittelt eine Zusammenstellung der Abflusskoeffizienten und ihrer Variationen sowie einiger wichtiger typspezifischer Kennzahlen, die aufgrund der repräsentativen Stationen ermittelt wurden. Infolge der grossen Bandbreiten einiger Kennzahlen wird bewusst auf eine Mittelwertbildung verzichtet.

Tabelle 8. Charakteristik des 'régime nival de transition'

| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.24-0.56 | 43-63 % |
| FEB | 0.42-0.60 | 37-66 % |
| MRZ | 0.63-0.91 | 30-40 % |
| APR | 1.29-1.70 | 27-33 % |
| MAI | 1.57-2.33 | 21-31 % |
| JUN | 1.58-2.16 | 18-36 % |
| JUL | 1.22-1.67 | 19-42 % |
| AUG | 0.99-1.32 | 22-42 % |
| SEP | 0.68-0.92 | 25-49 % |
| OKT | 0.49-0.84 | 36-62 % |
| NOV | 0.64-0.81 | 58-99 % |
| DEZ | 0.40-0.59 | 40-63 % |

NIVAL DE TRANSITION



| STAO/PER | MH | maxK | minK | DIFF | maxD | minD | DEQUER | VAR | q |
|----------|------|------|------|------|------|------|--------|-----|------|
| GRAN3556 | 1560 | 1.74 | 0.54 | 1.20 | 2.71 | 1.25 | 1.71 | 35 | 33.5 |
| SIM02180 | 1640 | 1.78 | 0.42 | 1.36 | 2.51 | 1.30 | 1.75 | 34 | 33.7 |
| SITA2367 | 1252 | 1.58 | 0.56 | 1.02 | 3.20 | 1.22 | 1.90 | 50 | 47.1 |
| TURS6480 | 1448 | 2.16 | 0.24 | 1.92 | 3.54 | 1.49 | 2.29 | 48 | 49.2 |
| MINS6180 | 1351 | 2.33 | 0.27 | 2.06 | 3.56 | 1.30 | 2.35 | 48 | 55.9 |
| SILU2136 | 1226 | 1.91 | 0.46 | 1.45 | 2.58 | 1.34 | 1.93 | 44 | 57.8 |

STAO/PER Repräsentative Station und Beobachtungszeitraum

MH Mittlere Einzugsgebietshöhe in m ueM

maxK Abflusskoeffizient des Maximums der mittleren Regimekurve

minK Abflusskoeffizient des Minimums der mittleren Regimekurve

DIFF Variationsbreite der mittleren Regimekurve

maxD maximale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres

minD minimale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres

DEQUER mittlere Abflusskoeffizienten-Differenz der Einzeljahre

VAR mittlerer Variationskoeffizient der Monate Jan-Dez in %

q mittlerer spezifischer Abfluss des Beobachtungszeitraumes in l/sec*km²

Mittleres Abflussregime: Das Abflussminimum tritt in den Monaten Dezember (selten), Januar (meistens) oder Februar (selten) auf und unterschreitet häufig 0.5 MQ(Periode). Das Abflussmaximum faellt auf die Monate Mai oder Juni und kann vereinzelt einen Abflusskoeffizienten (AK) > 2 aufweisen. Das sekundäre Maximum im November ist wenig ausgepraegt.

Der Jahresgang der Variationskoeffizienten zeigt ein Minimum (18-36%) zur Zeit des Abflussmaximums. Das sekundäre Maximum verursacht einen sehr hohen Variationskoeffizienten von 60-100%. Die mittleren Variationen (gemittelt ueber die 12 Monate) betragen je nach Flussgebiet 35-50%.

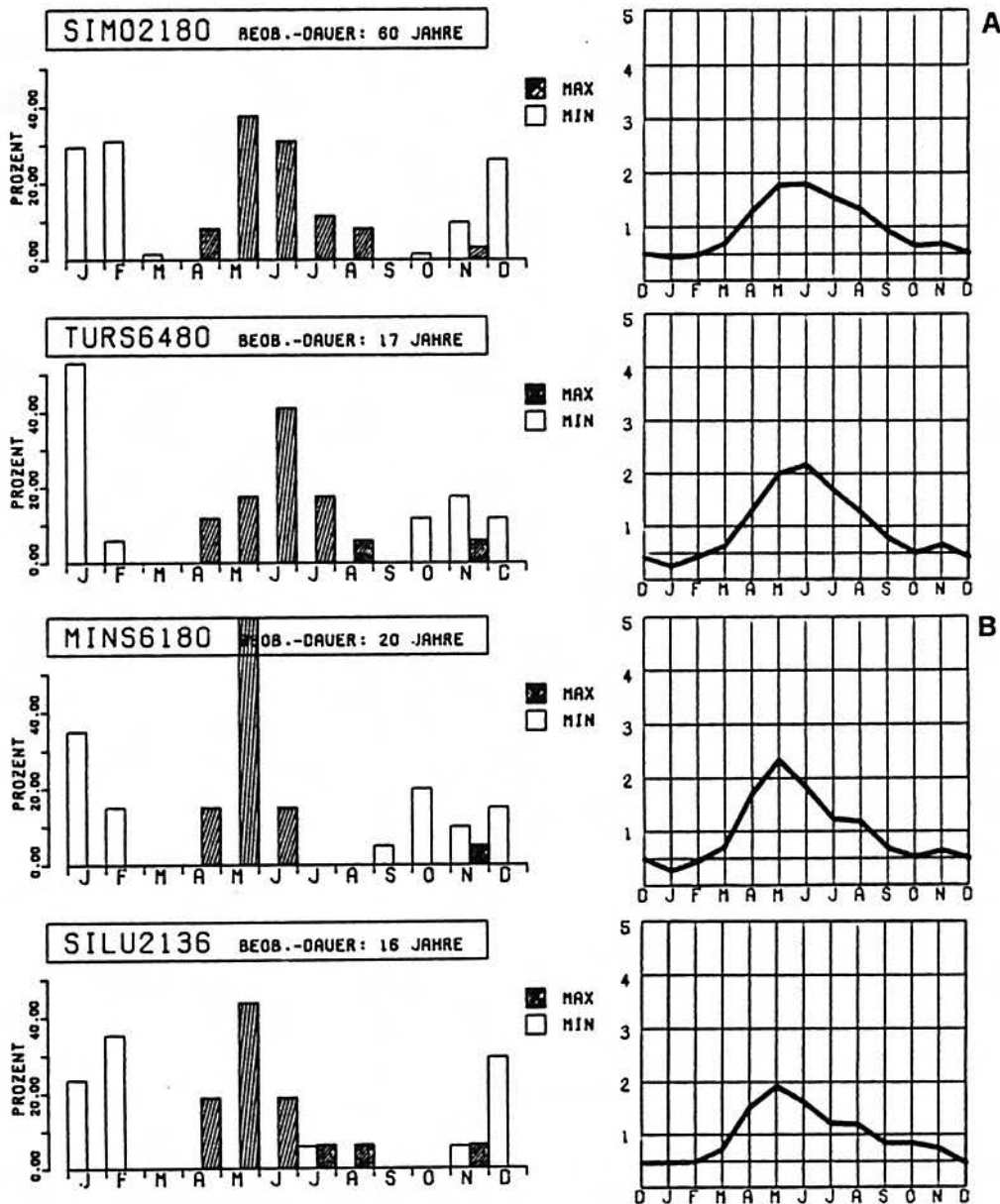
Zum Vergleich mit den Einzeljahren werden die minimalen, maximalen und mittleren Differenzen zwischen Abflussmaximum und -minimum - im folgenden Deltawerte genannt - herangezogen:

- Der mittlere Deltawert der Einzeljahre (DEQUER) liegt generell etwas hoeher als der Deltawert des Periodenmittels (DIFF). Somit fallen die Einzeljahre im Vergleich zum Periodenmittel ausgepraegter aus, als dies in der Mittelwertskurve zum Ausdruck kommt. Die Unterschiede sind aber nicht zu gross, so dass die mittlere Regimekurve in dieser Hinsicht immer noch als repraesentativ fuer Einzeljahre betrachtet werden kann.
- Auch in sehr ausgeglichenen Jahren unterscheiden sich Maximal- und Minimalabfluss deutlich um mehr als 1 MQ(Jahr) (minD: 1.2-1.5). Der Grund liegt darin, dass bei diesem Regimetyp die Schneeschmelze noch der dcminierende, alljaehrlich mit grosser zeitlicher Konstanz wiederkehrende Steuerfaktor bleibt.
- In den unausgeglichensten Jahren steigen die Deltawerte von 1.7-2.3 im Mittel (DEQUER) auf 2.5-3.5 (maxD) an.

Beim Betrachten der mittleren Abflussregimes der Figur 19 faellt auf, dass sich in bezug auf den Maximalabfluss zwei Kurvenformen unterscheiden lassen: bei der Simme und der Thur sind Mai und Juni von gleicher Bedeutung (A), bei der Minster und der Sihl dominiert der Mai (B). Es wurde schon frueher darauf hingewiesen, dass zwischen dem Verhaeltnis der beiden Monate des maximalen Doppelmonates und der Haeufigkeitsverteilung des Auftretens des Maximums in den Einzeljahren ein enger Zusammenhang besteht. Im Fall (A) ist das haeufigste Auftreten des Maximums gleichmaessig auf die Monate Mai und Juni verteilt. Demgegenueber stehen Regimes mit einer eindeutigen Dominanz des Monats Mai und einer Zunahme der Bedeutung des Monats April (Fall (B)). Dieser Zusammenhang zwischen der Haeufigkeitsverteilung des Abflussmaximums und dem maximalen Doppelmonat einer laengeren Beobachtungsperiode laesst sich ausnuetzen, um das 'regime nival de transition' in zwei Gruppen zu untergliedern. Diese Gruppen unterscheiden sich zwar in der Haeufigkeitsverteilung, aber nicht in den uebrigen Kennzahlen, so dass eine Untergliederung dieses Regimetyps in Untertypen nicht gerechtfertigt ist, zumal sich beide Gruppen auch raeumlich nicht trennen lassen.

Die Verteilung der Maximalabfluesse auf ein paar wenige Monate (April - August) ist beiden Gruppen gemeinsam. Nur in Ausnahmefaellen ueberragt das pluvial beeinflusste sekundäre Novembermaximum das nival bedingte Fruehjahresmaximum. Das Auftreten minimaler Monatsabfluesse in den Einzeljahren ist i.allg. auf die Monate Oktober bis Februar beschraenkt.

Allgemeine raeumliche Einordnung: Das 'regime nival de transition' tritt ab 1200 m mittlerer Einzugsgebietshoehe auf. Im Westen liegt diese Grenze etwas hoeher. Es faellt auf, dass mit der Simme-Oberwil (1640 mueM) und der Grande Eau-Aigle (1560 mueM) von der Einzugsgebietshoehe her zwei Vertreter der alpinen Abflussregimes (mittlere Einzugsgebietshoehe > 1550 mueM) erscheinen. Diese beiden Flussgebiete koennten aufgrund ihres mehrgipfligen Kurvenverlaufes nicht den alpinen Regimes zugerechnet werden und wurden als "Fehlklassifikationen" den mehrgipfligen Abflussregimes zugewiesen.



Figur 19. Häufigkeitsverteilung des Auftretens von Maximum und Minimum im Einzeljahr beim 'régime nival de transition':

- A Dominanz der Monate Mai und Juni
- B Dominanz des Monats Mai

M 4.2. DAS 'REGIME NIVO-PLUVIAL PREALPIN'

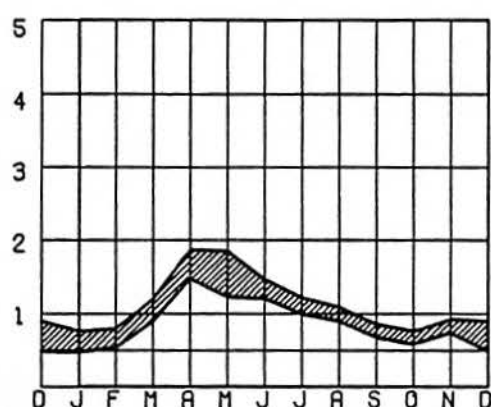
Das 'régime nivo-pluvial préalpin' ist gekennzeichnet durch ein Abflussminimum in den Monaten Dezember bis Februar und durch die Dominanz des Doppelmonats April/Mai im Bereich des Abflussmaximums. Die Hauptunterschiede zum 'régime nival de transition' liegen im früheren Auftreten des Maximums und in der weniger ausgeprägten mittleren Regimekurve. Der Deltawert der Periode (DIFF) ist deutlich kleiner als beim 'régime nival de transition'. Im übrigen sind sich die beiden vorwiegend durch Schneeschmelze gesteuerten Regimes sehr ähnlich.

Die wichtigsten langjährigen Kenngrößen sowie jene der Einzeljahre sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9. Charakteristik des 'régime nivo-pluvial préalpin'

| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.48-0.77 | 48-72 % |
| FEB | 0.54-0.81 | 59-91 % |
| MRZ | 0.91-1.21 | 32-58 % |
| APR | 1.49-1.88 | 21-35 % |
| MAI | 1.24-1.86 | 24-44 % |
| JUN | 1.22-1.48 | 31-60 % |
| JUL | 1.01-1.23 | 39-52 % |
| AUG | 0.91-1.10 | 41-55 % |
| SEP | 0.69-0.87 | 43-61 % |
| OKT | 0.59-0.77 | 51-66 % |
| NOV | 0.75-0.94 | 51-85 % |
| DEZ | 0.50-0.91 | 42-99 % |

NIVO-PLUVIAL PREALPIN



| STA0/PER | MH | maxK | minK | DIFF | maxD | minD | DEQUER | VAR | q |
|----------|------|------|------|------|------|------|--------|-----|------|
| BAYE3373 | 1220 | 1.66 | 0.58 | 1.08 | 2.97 | 0.98 | 1.90 | 49 | 30.4 |
| EMEG3174 | 1330 | 1.88 | 0.50 | 1.38 | 3.77 | 0.98 | 2.25 | 54 | 36.0 |
| KLEM3677 | 1070 | 1.51 | 0.59 | 0.92 | 2.65 | 1.05 | 1.77 | 48 | 32.4 |
| TURB2274 | 1110 | 1.54 | 0.56 | 0.98 | 3.34 | 1.19 | 1.94 | 53 | 45.9 |
| ALPT2550 | 1200 | 1.80 | 0.47 | 1.33 | 2.97 | 1.49 | 2.20 | 56 | 42.0 |
| EMEM2980 | 1070 | 1.61 | 0.59 | 1.02 | 3.42 | 0.98 | 1.84 | 52 | 26.6 |
| NECK1733 | 985 | 1.58 | 0.71 | 0.87 | 3.77 | 1.01 | 2.70 | 58 | 39.5 |
| SENS2876 | 1068 | 1.49 | 0.72 | 0.77 | 3.36 | 0.96 | 1.60 | 45 | 23.9 |
| URNA6280 | 1085 | 1.73 | 0.51 | 1.22 | 3.07 | 1.01 | 1.90 | 49 | 45.3 |

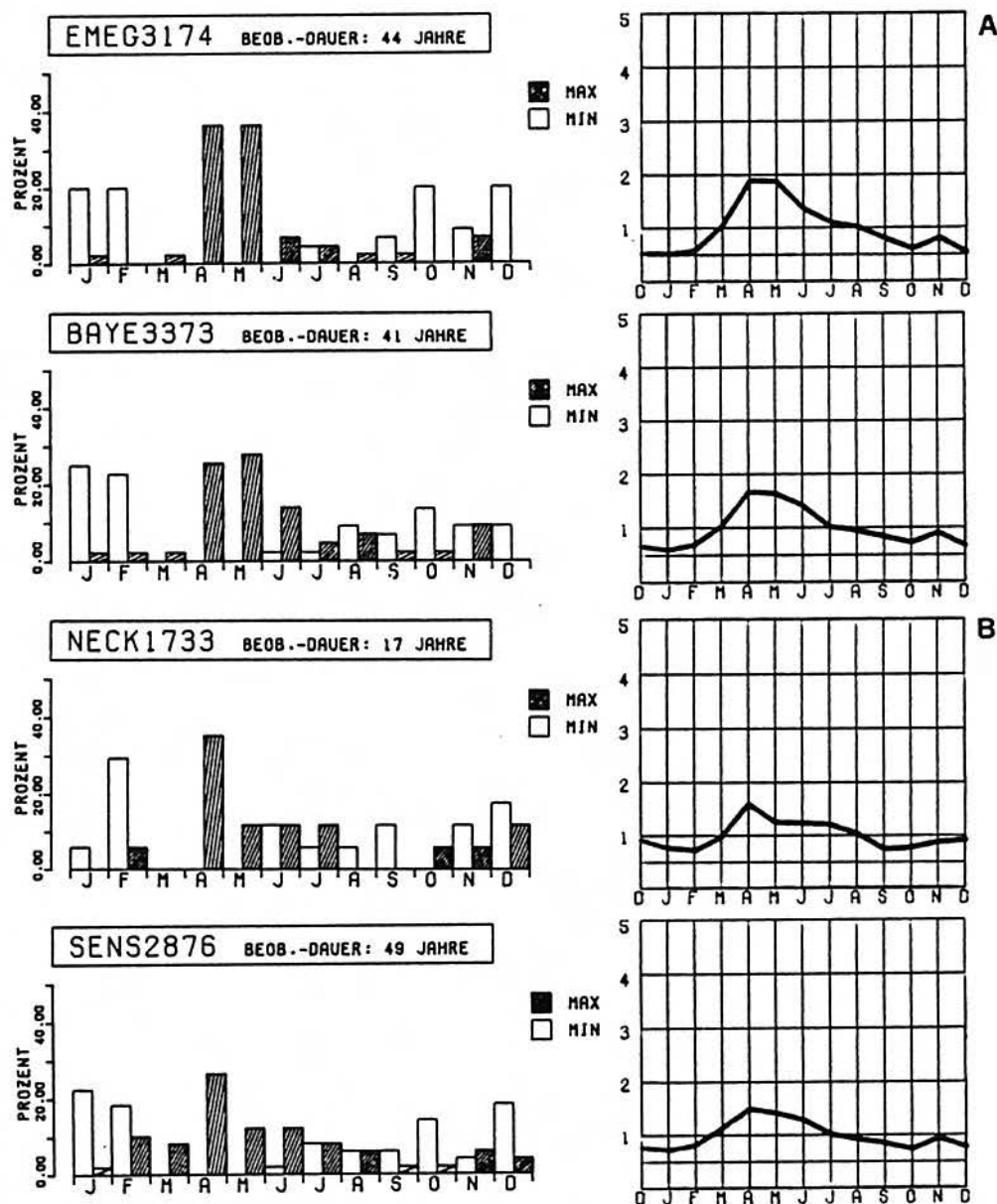
STA0/PER Repräsentative Station und Beobachtungszeitraum
 MH Mittlere Einzugsgebietshöhe in m ueM
 maxK Abflusskoeffizient des Maximums der mittleren Regimekurve
 minK Abflusskoeffizient des Minimums der mittleren Regimekurve
 DIFF Variationsbreite der mittleren Regimekurve
 maxD maximale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres
 minD minimale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres
 DEQUER mittlere Abflusskoeffizienten-Differenz der Einzeljahre
 VAR mittlerer Variationskoeffizient der Monate Jan-Dez in %
 q mittlerer spezifischer Abfluss des Beobachtungszeitraumes in l/sec*km²

Das Abflussminimum tritt im langjaehrigen Mittel vorwiegend im Januar auf. Einige wenige, tiefer gelegene Einzugsgebiete - im Uebergangsbereich zum 'régime pluvial supérieur' - zeigen neben dem Winterminimum ein im Ausmass identisches Minimum im Sommerhalbjahr. Die entsprechenden Abflusskoeffizienten liegen zwischen 0.5 und 0.8. Die abflussreichsten Monate April und Mai erreichen nicht mehr ganz die Intensitaet der Maximalabfluesse des 'regime nival de transition'. Ihre Abflusskoeffizienten schwanken zwischen 1.5 und 1.9. Das sekundaere Herbstmaximum im November hingegen ist staerker ausgepraegt. Dies wohl deshalb, weil der Niederschlag des Spaetherbstes in dieser Hoeohenlage noch abflusswirksam ist. Zudem ist der benachbarte Monat Oktober insgesamt etwas trockener, so dass sich das Herbstmaximum im Kurvenverlauf deutlicher abhebt als beim 'regime nival de transition'.

Der Jahresgang der Variationskoeffizienten gleicht demjenigen des 'régime nival de transition', nur sind die Koeffizienten deutlich hoeher: ein Minimum waehrend des Abflussmaximums (20-45%) und sehr hohe Variationen zur Zeit des sekundaeren Herbstmaximums (50-100%). Die mittleren monatlichen Variationskoeffizienten liegen je nach Flussgebiet zwischen 45 und 60%.

Der mittlere Deltawert der Einzeljahre (DEQUER:1.60-2.70) liegt bei allen Stationen deutlich hoeher als der Deltawert der Periode (DIFF:0.80-1.40). Die Mittelwertskurve verliert zusehends ihre Repraesentativitaet: Die Einzeljahre

dieses Regimetyps unterscheiden sich deutlich vom langjaehrigen Mittel. In den ausgeglichensten Jahren liegt die Variationsbreite der Monatsabfluesse (minD) bei 1 MQ(Jahr); in unausgeglichene Jahren erreicht sie 3.5 MQ(Jahr).



Figur 20. Haeufigkeitsverteilung des Auftretens von Maximum und Minimum im Einzeljahr beim 'régime nivo-pluvial préalpin':
 A Dominanz der Monate April und Mai
 B Dominanz des Monats April

Wie beim 'régime nival de transition' lassen sich beim 'régime nivo-pluvial préalpin' aufgrund des Kurvenverlaufs im Maximalbereich und aufgrund der Haeufigkeitsverteilung zwei Gruppen von Regimes unterscheiden (Figur 20):

1. Das Abflussmaximum entfaellt zu gleichen Teilen auf die Monate April und Mai (je 25-35%), der Rest auf die uebrige Zeit mit einer Bevorzugung der Monate Juni-November (A). Dies aeussert sich im Kurvenbild in einer breiten Abflussspitze: im Beispiel der Baye de Montreux und der Emme-Eggiwil sind die Abflussspitzen April und Mai nicht unterscheidbar.

2. Im zweiten Fall (B) dominiert der Monat April, obwohl er insgesamt nur 20-35% der Maximalabflüsse der Einzeljahre auf sich vereint. Der Rest verteilt sich auf die übrigen Monate, wobei auch Februar und März vermehrt als Monate mit Abflussmaximum auftreten. Sense und Necker sind Vertreter dieser Gruppe des 'régime nivo-pluvial préalpin'.

Tabelle 9 zeigt, dass sich die beiden Gruppen in den erhobenen Parameter nicht signifikant unterscheiden, so dass auch im Falle des 'régime nivo-pluvial préalpin' auf die Bildung von Untertypen verzichtet wird.

Im Gegensatz zum 'régime nival de transition' treten die Maxima trotz gewissen gruppenspezifischen Eigenheiten in praktisch allen Monaten auf; so kann das pluvial bedingte Maximum im Herbst das Fruehjahresmaximum ueberragen. Es ist nicht mehr nur auf den Monat November beschränkt, sondern tritt in der zweiten Jahreshälfte auf. Die Minima registriert man immer noch im Januar oder Februar, zeitweise auch in den Herbstmonaten. In dieser Häufigkeitsverteilung wird deutlich, wie sehr sich das Einzeljahr vom langjaehrigen Mittelwert zu unterscheiden beginnt.

Allgemeine räumliche Einordnung: Das 'régime nivo-pluvial préalpin' tritt ab einer mittleren Einzugsgebietshöhe von 900 m auf. Im Westen liegt diese Grenze ca. 100 m höher. Bis 1050 m mittlerer Einzugsgebietshöhe existiert der oben bereits erwähnte Übergangsbereich. Im Kurvenverlauf äussert er sich in einer beginnenden Verlagerung des Minimums vom Winterhalbjahr ins Sommerhalbjahr: Stationen in diesem Grenzbereich weisen oft zwei, im Ausmass identische Minima im Januar, Februar und im Oktober auf.

M 4.3. DIE 'REGIMES PLUVIALS SUPERIEURS ET INFERIEURS'

Die pluvialen Abflussregimes des Mittellandes zeichnen sich aus durch minimale Abflüsse im Sommerhalbjahr (Juli bis Oktober) und durch eine Variationsbreite, die im langjaehrigen Mittel 1 MQ(Periode) nicht uebersteigt. Die Abflussmaxima tendieren gegen die Wintermonate hin. Durch die Verwendung des maximalen Doppelmonats als weiteres Typisierungskriterium lassen sich zwei Untertypen bilden, die im folgenden gesondert betrachtet werden:

1. max. Doppelmonat MRZ/APR ==> 'régime pluvial supérieur'
2. max. Doppelmonat FEB/MRZ ==> 'régime pluvial inférieur'

M 4.3.1. Das 'régime pluvial supérieur'

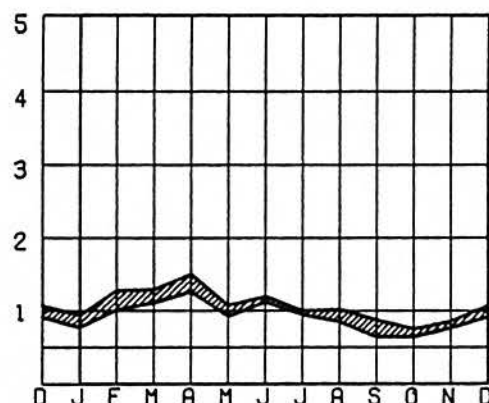
Mit dem Übergang vom 'régime nivo-pluvial préalpin' zum 'régime pluvial supérieur' vollzieht sich die endgültige Verlagerung des Abflussminimums vom Winterhalbjahr ins Sommerhalbjahr. Maximale Monatsabflüsse treten beim maximalen Doppelmonat März/April mehrheitlich im April ein. Im langjaehrigen Mittel faellt neben der kleinen Variationsbreite der Abflüsse (DIFF) der unruhige Kurvenverlauf mit sekundären Maxima im Juni und im Dezember auf. In Tabelle 10 sind die wichtigsten Kenngrößen dieses Regimetyps zusammengestellt.

Die mittlere Regimekurve: Die Bandbreiten der Koeffizienten im Bereich des Abflussmaximums im April (AK: 1.25-1.50), das Abflussminimum im Oktober (AK: 0.65-0.75) sowie jene der übrigen Monate tauschen eine Homogenität dieses

Tabelle 10. Charakteristik des 'régime pluvial supérieur'

| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.78-0.95 | 42-56 % |
| FEB | 1.02-1.29 | 40-54 % |
| MRZ | 1.12-1.30 | 32-46 % |
| APR | 1.27-1.51 | 27-43 % |
| MAI | 0.93-1.09 | 33-48 % |
| JUN | 1.13-1.21 | 35-67 % |
| JUL | 0.96-1.01 | 40-53 % |
| AUG | 0.86-1.03 | 39-54 % |
| SEP | 0.65-0.88 | 40-81 % |
| OKT | 0.65-0.76 | 40-71 % |
| NOV | 0.77-0.87 | 37-88 % |
| DEZ | 0.92-1.08 | 33-63 % |

PLUVIAL SUPERIEUR



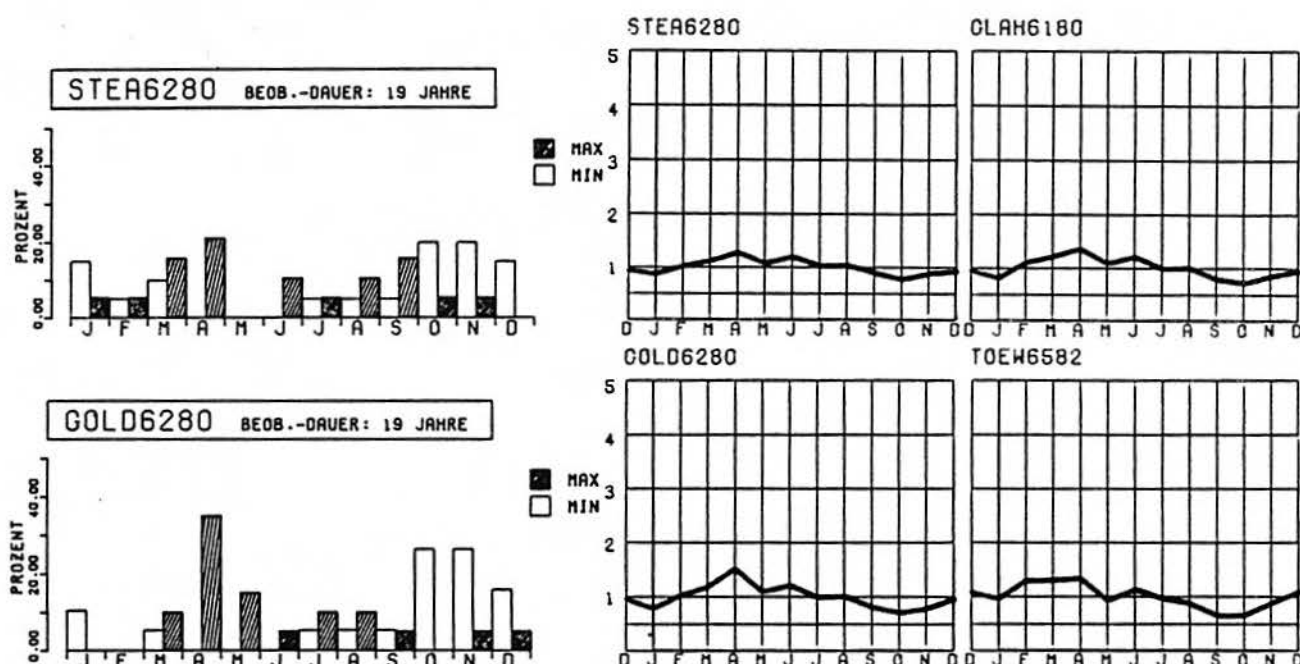
| STA0/PER | MH | maxK | minK | DIFF | maxD | minD | DEQUER | VAR | q |
|----------|-----|------|------|------|------|------|--------|-----|------|
| GLAH6180 | 840 | 1.36 | 0.71 | 0.65 | 2.66 | 0.95 | 1.69 | 50 | 32.7 |
| GOLD6280 | 833 | 1.51 | 0.69 | 0.82 | 2.63 | 0.95 | 1.72 | 51 | 28.4 |
| STEA6280 | 710 | 1.27 | 0.76 | 0.51 | 2.00 | 0.69 | 1.35 | 39 | 33.5 |
| TOEW6582 | 782 | 1.33 | 0.64 | 0.69 | 3.08 | 1.07 | 1.96 | 58 | 23.4 |

STA0/PER Repräsentative Station und Beobachtungszeitraum
 MH Mittlere Einzugsgebietshöhe in m ueM
 maxK Abflusskoeffizient des Maximums der mittleren Regimekurve
 minK Abflusskoeffizient des Minimums der mittleren Regimekurve
 DIFF Variationsbreite der mittleren Regimekurve
 maxD maximale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres
 minD minimale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres
 DEQUER mittlere Abflusskoeffizienten-Differenz der Einzeljahre
 VAR mittlerer Variationskoeffizient der Monate Jan-Dez in %
 q mittlerer spezifischer Abfluss des Beobachtungszeitraumes in l/sec*km²

Regimetyps vor, die in Wirklichkeit nicht zutrifft (vgl. Graphik in Tabelle 10). Diese Pseudohomogenität kommt durch den kleinen Stichprobenumfang (4 repräsentative Stationen), einen räumlichen (alle Stationen liegen in der Ostschweiz) und einen zeitlichen (gleiche Beobachtungsperiode) Stichprobeneffekt zustande.

Die Variationskoeffizienten zeigen keinen eigentlichen Jahresgang mehr: mit Ausnahme des Bereichs des Abflussmaximums (25-50%) und des Monats November (bis 90%) schwanken alle Variationskoeffizienten um den Wert 50%. Gemittelt ueber die Monate betraegt die mittlere Variabilitaet je nach Flussgebiet 40-60%

Zwischen den Abflussganglinien von Einzeljahren und dem Periodenmittel besteht ein krasser Unterschied. Die Tendenz, die sich bereits beim 'régime nivo-pluvial préalpin' erkennen liess, wird bei den pluvialen Regimes fortgesetzt: Die Differenz zwischen dem mittleren Delta der Einzeljahre (DEQUER) und dem Deltawert der Beobachtungsperiode (DIFF) betraegt in den meisten Faellen 1 MQ(Jahr) und mehr. Der Jahresgang der Einzeljahre weist groessere Variationsbreiten auf, als dies die mittlere Regimekurve vermuten liesse. Selbst die Variationsbreiten ausgeglichener Jahre sind groesser als diejenigen des Periodenmittels. Die hohen zeitlichen Variabilitaeten des Abflussmaximums und -minimums fuehren durch die Mittelwertbildung zu diesen ausgeglichenen Periodenmitteln. Einzig aufgrund der Auspraegung der mittleren Regimekurve auf ein Retentionsregime zu schliessen, waere deshalb im vorliegenden Falle sicherlich verfehlt. Die Korrelationsanalyse in "M 2.3.2. Korrelationen benachbarter Monatsabfluesse" zeigt sogar, dass die Speichereigenschaften dieser Einzugsgebiete nicht allzu gross sind.



Figur 21. Häufigkeitsverteilung des Auftretens von Maximum und Minimum im Einzeljahr beim 'régime pluvial supérieur'

Häufigkeitsverteilung: Wie aus Figur 21 ersichtlich ist, können maximale Monatsabflüsse in mehreren Monaten auftreten. Manchmal fehlt sogar die Dominanz eines Monats. Auf die langjährige Abflussspitze im April entfallen 20-35% der Maxima; der Rest verteilt sich gleichmässig auf die übrigen Monate. Gegen 50% der Minima registriert man im Oktober und November. Interessanterweise fällt das Minimum nie auf die Monate April bis Juni. Offenbar ist in diesen Monaten immer eine genügend grosse Wasserführung vorhanden. Auch wenn der Niederschlag die Hauptsteuergrosse der pluvialen Regimes ist, so dürfte doch die Schneeschmelze in den höher gelegenen Teilen der Einzugsgebiete dieses Wasserangebot beeinflussen.

Allgemeine räumliche Einordnung: Wie bereits kurz erwähnt, ist das 'régime pluvial supérieur' nur östlich des Zuerichsee stationenmässig belegt. Es liegt zwischen 700 und 900 m mittlerer Einzugsgebietshöhe. Im schweizerischen Stationsnetz der Landeshydrologie werden westlich des Zuerichsee keine Einzugsgebiete in der entsprechenden mittleren Höhenlage gemessen. Inwieweit dieser Regimetyp deshalb im zentralen Teil des Mittellandes verwirklicht ist, lässt sich vorerst nur abschätzen (vgl. Kapitel M 5).

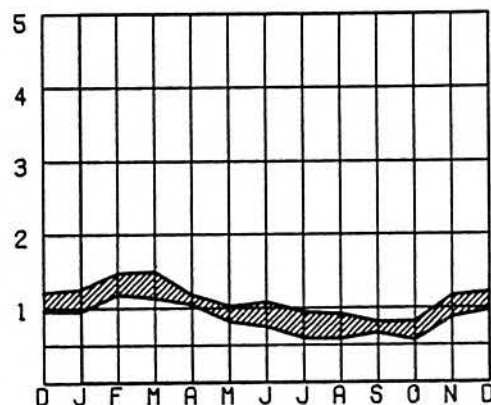
M 4.3.2. Das 'régime pluvial inférieur'

Das 'régime pluvial inférieur' ist dem 'régime pluvial supérieur' sehr verwandt. Im wesentlichen unterscheiden sich die beiden Untertypen nur in der Lage des Abflussmaximums und in der Dauer der Niedrigwasserabflussphase: der maximale Doppelmonat verschiebt sich von März/April auf Februar/März und die Niedrigwasserperiode dauert etwas länger (September und Oktober). Der allgemeine Charakter der mittleren Abflusskurve mit sehr kleinen Variationsbreiten

(DIFF: 0.4-0.9) und mehreren sekundaeren Maxima tritt auch bei diesem Regimeuntertyp auf (Figur 22). Die wichtigsten Angaben zum 'régime pluvial inférieur' sind in Tabelle 11 zusammengefasst:

Tabelle 11. Charakteristik des 'régime pluvial inférieur'

| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.96-1.26 | 30-70 % |
| FEB | 1.19-1.48 | 22-62 % |
| MRZ | 1.14-1.50 | 26-64 % |
| APR | 1.05-1.18 | 23-47 % |
| MAI | 0.83-1.03 | 20-67 % |
| JUN | 0.76-1.09 | 28-64 % |
| JUL | 0.60-0.95 | 29-70 % |
| AUG | 0.59-0.92 | 28-81 % |
| SEP | 0.67-0.82 | 29-99 % |
| OKT | 0.57-0.83 | 27-70 % |
| NOV | 0.88-1.17 | 44-88 % |
| DEZ | 0.97-1.22 | 33-63 % |



PLUVIAL INFERIEUR

| STAO/PER | MH | maxK | minK | DIFF | maxD | minD | DEQUER | VAR | q |
|----------|-----|------|------|------|------|------|--------|-----|------|
| BROY2180 | 710 | 1.50 | 0.58 | 0.92 | 4.80 | 1.11 | 2.30 | 61 | 19.3 |
| LANL2480 | 713 | 1.25 | 0.82 | 0.43 | 3.31 | 0.42 | 1.18 | 31 | 18.0 |
| TOES2180 | 650 | 1.30 | 0.69 | 0.61 | 3.62 | 0.76 | 1.94 | 54 | 22.5 |
| AACH6280 | 480 | 1.44 | 0.57 | 0.87 | 4.36 | 1.54 | 2.34 | 70 | 15.3 |
| BIBK5680 | 540 | 1.47 | 0.69 | 0.78 | 2.34 | 0.61 | 1.48 | 38 | 10.4 |
| BUNZ5780 | 533 | 1.46 | 0.75 | 0.71 | 2.44 | 0.73 | 1.45 | 38 | 17.8 |
| LANH6680 | 766 | 1.26 | 0.74 | 0.52 | 1.80 | 0.53 | 1.10 | 30 | 22.2 |
| MURW5480 | 650 | 1.38 | 0.69 | 0.69 | 3.14 | 1.06 | 1.88 | 52 | 22.9 |
| WYNA5380 | 649 | 1.42 | 0.68 | 0.74 | 2.94 | 1.02 | 1.84 | 48 | 16.0 |

STAO/PER Repraesentative Station und Beobachtungszeitraum
 MH Mittlere Einzugsgebietshoehe in m ueM
 maxK Abflusskoeffizient des Maximums der mittleren Regimekurve
 minK Abflusskoeffizient des Minimums der mittleren Regimekurve
 DIFF Variationsbreite der mittleren Regimekurve
 maxD maximale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres
 minD minimale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres
 DEQUER mittlere Abflusskoeffizienten-Differenz der Einzeljahre
 VAR mittlerer Variationskoeffizient der Monate Jan-Dez in %
 q mittlerer spezifischer Abfluss des Beobachtungszeitraumes in l/sec*km²

Mittleres Abflussregime: Unter Beruecksichtigung der Verschiebung des Maximums entsprechen die Bandbreiten der monatlichen Abflusskoeffizienten weitgehend denjenigen des 'régime pluvial supérieur'. Das sekundaere Maximum im Dezember ist in einigen Faellen staerker ausgepraegt. Einzig die Ganglinie der Broye hebt sich von den uebrigen Einzugsgebieten etwas ab: Das Delta der Periode liegt zwar unter 1 MQ(Periode), ist aber mit einem Wert von 0.92 groesser als bei den andern Stationen. Die sekundaeren Maxima im Juni und August fehlen. Das Minimum dauert ebenfalls zwei Monate, tritt nun aber bereits im Juli ein (Figur 22). Die Broye liegt im Grenzraum zu den jurassischen Regimetypen; sie wird aber, da sie die Bedingung DIFF > 1 MQ(Periode) fuer jurassische Regimetypen im langjaehrigen Mittel knapp nicht erfuehlt, noch den mittellaendisch - pluvialen Regimetypen zugeordnet. Sie zeigt aber ein Uebergangsregime, das ebensogut auch bei den jurassischen Regimetypen besprochen werden koennte.

Die monatlichen Variationskoeffizienten schwanken um 50% und weisen insofern eine Besonderheit auf, als das Minimum der Variationskoeffizienten (April)

nicht mehr im Zeitpunkt des Abflussmaximums (Februar und Maerz) auftritt; allerdings ist dieser minimale Variationskoeffizient nur unwesentlich kleiner als die restlichen Koeffizienten. Die mittleren Variationen liegen bei 50-70%. Die Langete, der Biberenkanal und die Buenz passen nicht in diese Struktur der Variation der Monatsabfluesse. Ihre mittleren Koeffizienten von 30-40% liegen sogar noch unter denjenigen des 'régime nival de transition'. Auch in den mittleren Deltawerten der Einzeljahre unterscheiden sich die genannten Flussgebiete von den andern dieses Regimetyps: mit 1.10-1.50 gegen 1.85-2.35 sind sie deutlich kleiner. Da alle Einzugsgebiete auf derselben Hoehenstufe liegen, also mehr oder weniger gleichen klimatischen Bedingungen unterliegen, muessen in den betreffenden Einzugsgebieten gewisse physiographischen Eigenschaften den Abflussgang im Einzeljahr daempfen und so zu kleineren Abflussschwankungen fuehren. Wir denken dabei vor allem an die Grundwasserverhaeltnisse: Bei der Korrelationsanalyse, die ueber die Anzahl korrelierter Monatspaare Auskunft ueber das Retentionsvermoegen eines Einzugsgebietes gibt, heben sich diese drei Einzugsgebiete deutlich ab: Sie weisen 11 oder 12 korrelierte, benachbarte Monatspaare auf; bei den restlichen Einzugsgebieten dieses Untertyps liegt diese Anzahl zwischen 0 und 10 (vgl. Tabelle 6).

Im uebrigen besteht auch beim 'régime pluvial inférieur' eine grosse Diskrepanz zwischen dem Periodenmittel und den Einzeljahren, deren Deltawerte viel groesser sind als es im Periodenmittel ersichtlich ist. In extremen Jahren betraegt die Spannweite zwischen Abflussmaximum und -minimum ueber 4 MQ(Jahr): Broye (4.80) und Aach (4.35) sind Beispiele dazu. In sehr ausgeglichenen Jahren kann die Variationsbreite unter 0.5 MQ(Jahr) fallen: z.B. Langeten (0.42).

Aus dem Kurvenverlauf und der Haeufigkeitsverteilung des Maximums im Einzeljahr ist auf Figur 22 ersichtlich, dass sich das 'regime pluvial inferieur' wiederum in zwei Gruppen unterteilen laesst:

1. Breite Abflussspitzen in den Monaten Februar und Maerz, entsprechend dem haeufigsten Auftreten der Maxima der Einzeljahre in diesen beiden Monaten (ca. 40%). Daneben erreichen die Monate November und Dezember noch einmal 40%; der Rest entfaellt auf die Zwischenmonate April-Oktober (Fall A).
2. Im Fall (B) wird das Kurvenbild und die Haeufigkeitsverteilung durch den Monat Februar dominiert. Der Monat Maerz tritt in der Bedeutung als Traeger des Abflussmaximums noch hinter den Januar zurueck. Auffallend ist auch, dass das sekundaere Maximum im Dezember das Fruehjahresmaximum haeufig an Intensitaet uebertrifft.

Beiden Gruppen gemeinsam ist, dass das Hauptmaximum oder -minimum in jedem Monat eintreten kann. Im Gegensatz zum 'régime pluvial supérieur' gibt es keine Monate mehr, die in jedem Jahr ueber ein gesichertes Wasserangebot verfuegen, so dass in diesem Zeitraum das Abflussminimum nicht auftreten kann.

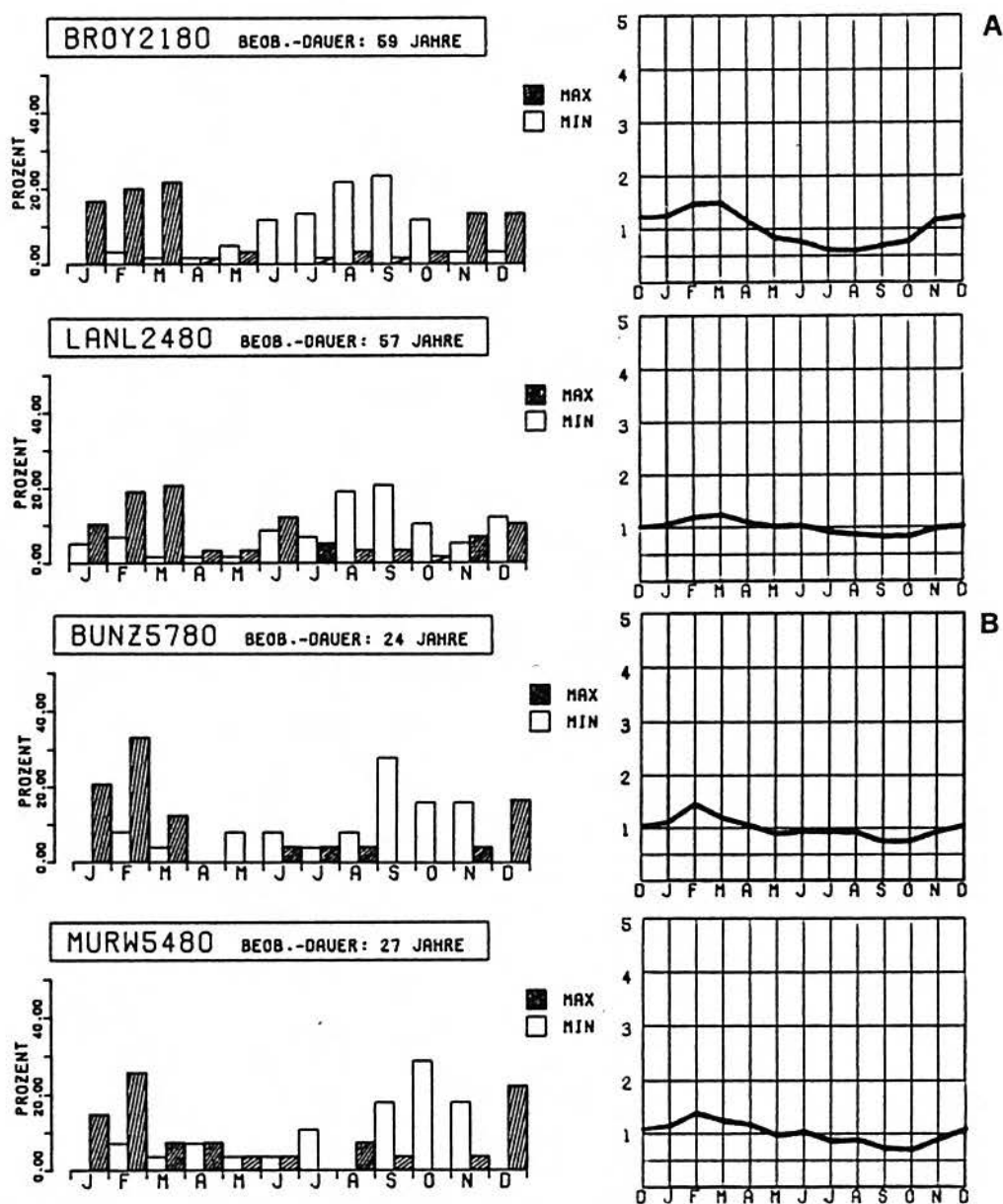
In den Einzugsgebieten dieses Regimetyps wirkt sich die Speicherung des Niederschlags in Form von Schnee auf die Monatsabfluesse kaum mehr aus. Schneespeicherung und -aufbrauch spielen sich in einem zeitlich kleineren Rahmen ab: Nach der von SCHUEPP, GENSLER und BOUET(1980:3) gefundenen Beziehung zwischen der Anzahl Tage mit einer Schneedecke und der Hoehe ueber Meer sind die Einzugsgebiete dieses Typs im Mittel hoechstens an 78 Tagen mit Schnee bedeckt. Dieser Wert mag auf den ersten Blick als hoch erscheinen; er wird aber

- durch die in diesen tiefen Lagen geringen Schneehoehen und
- durch die Definition der Schneetage ("nur die Haelfte des Bodens mit Schnee bedeckt")

relativiert. Zu Vergleichszwecken sind hier die entsprechenden Werte der restlichen mittellaendischen Typen aufgefuehrt:

'régime nival de transition': 174 Tage
 'régime nivo-pluvial préalpin': 132 Tage
 'régime pluvial supérieur': 96 Tage

Neben den erwähnten physiographischen Eigenschaften, die ein Regime in bestimmter Weise zu modifizieren vermögen, ist das Wechselspiel von Niederschlag und Verdunstung die entscheidende Steuergrösse.



Figur 22. Häufigkeitsverteilung des Auftretens von Maximum und Minimum im Einzeljahr beim 'régime pluvial inférieur':
 A Dominanz Februar und März
 B Dominanz Februar

Allgemeine räumliche Einordnung: Das 'régime pluvial inférieur' tritt unterhalb von 750 m mittlerer Einzugsgebietshöhe auf. Die Abgrenzung westwärts ist durch die Broye gegeben; im Osten reicht dieser pluviale Untertyp bis an den Bodensee (Aach).

M 4.4. DIE 'REGIMES JURASSIENS'

Dieser Regimetyp, der vorwiegend im Jura verbreitet ist, ist einerseits dem 'régime nivo-pluvial préalpin' und andererseits auch dem pluvialen Abflusstyp, der vorwiegend im zentralen und oestlichen Mittelland auftritt, verwandt. Seine hauptsaechlichsten Kennzeichen sind das Abflussminimum in den Sommermonaten Juli-Oktober und eine Variationsbreite (DIFF), die im langjaehrigen Mittel auch in tieferen Lagen 1 MQ(Periode) uebertrifft. Der maximale Doppelmonat (DM) liefert ein weiteres Typisierungsmerkmal, sodass im weiteren zwei Untertypen unterschieden werden koennen:

1. max. DM Mrz/Apr ==> 'régime nivo-pluvial jurassien'
2. max. DM Feb/Mrz ==> 'régime pluvial jurassien'

Das 'régime pluvial jurassien' ist nur gerade durch zwei Flussgebiete mit langjaehrigen Messreihen vertreten (Sisseln und Ergolz). Die ausgewiesenen Groessen sind deshalb als grobe Richtwerte zu verstehen, die sowohl unter- als auch ueberschritten werden koennen.

Die Typisierung selbst laesst sich allerdings durch Stationen mit kuerzeren Beobachtungsperioden erhaerten. Die beiden Untertypen werden im folgenden gemeinsam besprochen. Die Zusammenstellung der Koeffizienten, ihrer Variationen und andere Angaben zum Abflussverhalten beinhaltet Tabelle 12.

Mittlere Regimekurve: Auffallend beim 'régime nivo-pluvial jurassien' und etwas weniger ausgepraegt auch beim 'régime pluvial jurassien' ist das schnelle Abfallen nach dem Maximum auf minimale Monatsabfluesse, die mehr oder weniger stark differenziert mehrere Monate dauern koennen. Neben der laengeren Dauer der Niedrigwasserabfluesse ist auch die relative Wasserfuehrung kleiner als bei den pluvialen Regimes des Mittellandes: die Abflusskoeffizienten fallen auf ca. 0.5 MQ(Periode). Bei einem maximalen Doppelmonat Maerz/April tritt das langjaehrige Abflussmaximum im April ein. Es ist im Ausmass (AK: 1.50-1.80) durchaus mit dem 'régime nivo-pluvial préalpin' vergleichbar (AK: 1.50-1.90). Das sekundaere Maximum im November oder Dezember ist stark ausgepraegt und erreicht mit Abflusskoeffizienten zwischen 1.10 und 1.30 rund drei Viertel der Intensitaet des Hauptmaximums.

Was fuer das 'régime nivo-pluvial jurassien' gesagt wurde, gilt auch mit einem Unterschied fuer das 'régime pluvial jurassien': Bei einem maximalen Doppelmonat Februar/Maerz resultieren breitere Abflussspitzen mit Maximum im Februar, wobei der Abflusskoeffizient des Januar auch noch von Bedeutung ist.

Die Variationskoeffizienten zeigen einen Jahresgang mit einem Minimum zur Zeit des Abflussmaximums (30-45%) und einem Maximum zur Zeit des Abflussminimums (40-100%). Besonders beim 'régime pluvial jurassien' sind die Variationskoeffizienten sehr gross: im Mittel 70% (vgl. Figur 13).

Obwohl die mittleren Deltawerte der Einzeljahre (DEQUER) teilweise viel groesser sind als die Deltawerte der Periode (DIFF), besitzt die mittlere Regimekurve bei beiden Untertypen eine gewisse Repraesentativitaet fuer die Einzeljahre: Die Haeufigkeitsverteilung zeigt naemlich, dass der allgemeine Charakter des Abflussganges mit einem Fruehjahresmaximum und einem Sommerminimum mit wenigen Ausnahmen auch im Einzeljahr verwirklicht ist. Allerdings sind die Gegensaeetze Maximum/Minimum viel praegnanter. In extremen Jahren betragen diese Differenzen bis zu 4.8 MQ(Jahr). Hingegen unterschreitet die Variationsbreite der

Tabelle 12. Charakteristik der 'régimes jurassiens'

| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.91-1.21 | 46-67 % |
| FEB | 1.08-1.47 | 52-68 % |
| MRZ | 1.32-1.56 | 32-42 % |
| APR | 1.53-1.79 | 31-46 % |
| MAI | 0.98-1.33 | 39-56 % |
| JUN | 0.66-0.96 | 41-61 % |
| JUL | 0.42-0.69 | 46-65 % |
| AUG | 0.45-0.70 | 39-80 % |
| SEP | 0.54-0.64 | 59-90 % |
| OKT | 0.52-0.80 | 65-89 % |
| NOV | 0.97-1.16 | 57-92 % |
| DEZ | 1.11-1.31 | 47-70 % |

NIVO-PLUVIAL JURASSIEN

| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 1.35-1.54 | 55-61 % |
| FEB | 1.57-1.71 | 52-56 % |
| MRZ | 1.49-1.57 | 51-66 % |
| APR | 1.16-1.29 | 42-45 % |
| MAI | 0.82-0.91 | 57-58 % |
| JUN | 0.76-1.00 | 62-72 % |
| JUL | 0.41-0.69 | 87-99 % |
| AUG | 0.58-0.63 | 66-82 % |
| SEP | 0.42-0.59 | 81-99 % |
| OKT | 0.49-0.56 | 77-99 % |
| NOV | 1.01-1.02 | 75-89 % |
| DEZ | 1.12-1.37 | 55-59 % |

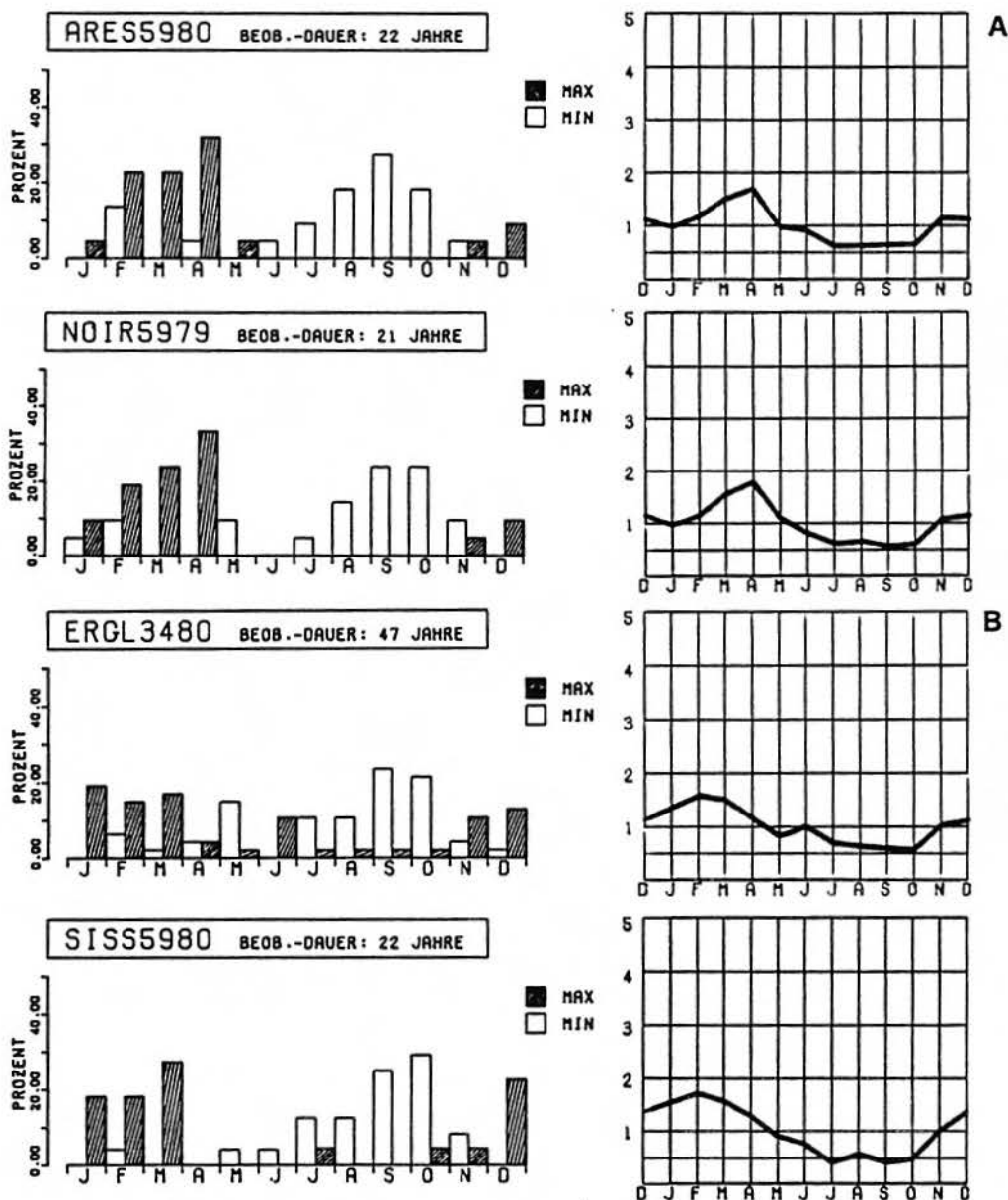
PLUVIAL JURASSIEN

| STAO/PER | MH | maxK | minK | DIFF | maxD | minD | DEQUER | VAR | q |
|----------|------|------|------|------|------|------|--------|-----|------|
| AREC4980 | 1080 | 1.69 | 0.61 | 1.08 | 3.44 | 0.98 | 2.16 | 59 | 34.0 |
| ARE5980 | 1081 | 1.77 | 0.57 | 1.20 | 3.45 | 1.29 | 2.12 | 56 | 36.8 |
| BIED6480 | 1080 | 1.54 | 0.56 | 0.98 | 2.63 | 1.33 | 2.00 | 50 | 9.5 |
| LOND1835 | 876 | 1.53 | 0.46 | 1.07 | 2.89 | 1.11 | 1.81 | 46 | 26.2 |
| NOIR5979 | 1065 | 1.79 | 0.55 | 1.23 | 3.25 | 1.38 | 2.11 | 54 | 29.4 |
| SUZE6180 | 1050 | 1.70 | 0.56 | 1.14 | 2.98 | 1.09 | 1.82 | 47 | 21.4 |
| VENO4878 | 800 | 1.78 | 0.42 | 1.36 | 4.77 | 1.47 | 2.53 | 68 | 19.5 |
| ERGL3480 | 590 | 1.57 | 0.56 | 1.01 | 4.62 | 1.04 | 2.42 | 68 | 13.9 |
| SISS5980 | 529 | 1.71 | 0.41 | 1.30 | 4.12 | 1.45 | 2.50 | 71 | 13.2 |

STAO/PER Repräsentative Station und Beobachtungszeitraum
 MH Mittlere Einzugsgebietshöhe in m_{ueM}
 maxK Abflusskoeffizient des Maximums der mittleren Regimekurve
 minK Abflusskoeffizient des Minimums der mittleren Regimekurve
 DIFF Variationsbreite der mittleren Regimekurve
 maxD maximale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres
 minD minimale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres
 DEQUER mittlere Abflusskoeffizienten-Differenz der Einzeljahre
 VAR mittlerer Variationskoeffizient der Monate Jan-Dez in %
 q mittlerer spezifischer Abfluss des Beobachtungszeitraumes
 in l/sec*km²

Monatsabflüsse in sehr ausgeglichenen Jahren 1 MQ(Jahr) nicht. Auch dies bildet einen deutlichen Unterschied zu den pluvialen Regimes des Mittellandes. Die Häufigkeitsverteilungen des Abflussmaximums und des -minimums (Figur 23) zeigen das Bild, das wir aufgrund des Kurvenverlaufs erwarten: entsprechend dem maximalen Doppelmonat und der Lage des Abflussmaximums sind entweder der Monat April ('régime nivo-pluvial jurassien') oder die Monate Januar, Februar und März ('régime pluvial jurassien') dominant. Deutlich unterscheiden sich die beiden jurassischen Untertypen auch in der Häufigkeitsverteilung in den Monaten Januar und April. Der Monat April ist beim 'régime nivo-pluvial jurassien', wie wir es vorhin erwähnt haben, der häufigste Monat maximaler Monatsabflüsse, hingegen ist er beim 'régime pluvial jurassien' in diesem Zusammenhang bereits bedeutungslos. Gerade umgekehrt - wenn auch etwas weniger





Figur 23. Häufigkeitsverteilung des Auftretens von Maximum und Minimum bei den 'régimes jurassiens':

- A 'régime nivo-pluvial jurassien'
B 'régime pluvial jurassien'

ausgeprägt - sind die Verhältnisse im Januar. Daneben gibt es aber noch weitere interessante Details:

- In den höher gelegenen Einzugsgebieten entfällt das Maximum der Einzeljahre auf wenige Monate im Frühjahr. Die Schneeschmelze bildet hier in bezug auf die Abflussmaxima noch die entscheidende Steuergroesse (==> nivo-pluviales Regime). In den tieferen Lagen verliert die Schneeschmelze ihre Dominanz auf Kosten des Niederschlags. Gerade das in jedem Monat mögliche Auftreten maximaler Abflusses ist das Kennzeichnen der pluvialen Regimes.
- In der Häufigkeitsverteilung beträgt das Verhältnis des Auftretens des Hauptmaximums im Frühjahr (Januar bis Mai) oder Herbst bei 'régime nivo-

pluvial jurassien' 6:1 und beim 'régime pluvial jurassien' 2:1. In den hoeheren Lagen faellt der Niederschlag im Spaetherbst als Schnee und gelangt eher ausnahmsweise zum Abfluss; in den tieferen Lagen verursacht der Niederschlag, der meist als Regen faellt, bei minimaler Verdunstung des oefftern maximale Monatsabfluesse.

Allgemeine raeumliche Einordnung Die beiden Regimeuntertypen sind im Jura und in der Westschweiz verwirklicht: das 'régime nivo-pluvial jurassien' in Einzugsgebieten mit einer mittleren Hoehe von 800-1100 mueM, das 'régime pluvial jurassien' unterhalb 900 mueM. Zwischen 800 und 900 m mittlerer Einzugsgebietshoehe existiert aehnlich wie im Voralpenraum ein Grenzbereich, in dem beide Untertypen auftreten koennen.

Auf eine detaillierte raeumliche Einordnung der Typen und Untertypen wird im naechsten Kapitel eingetreten.

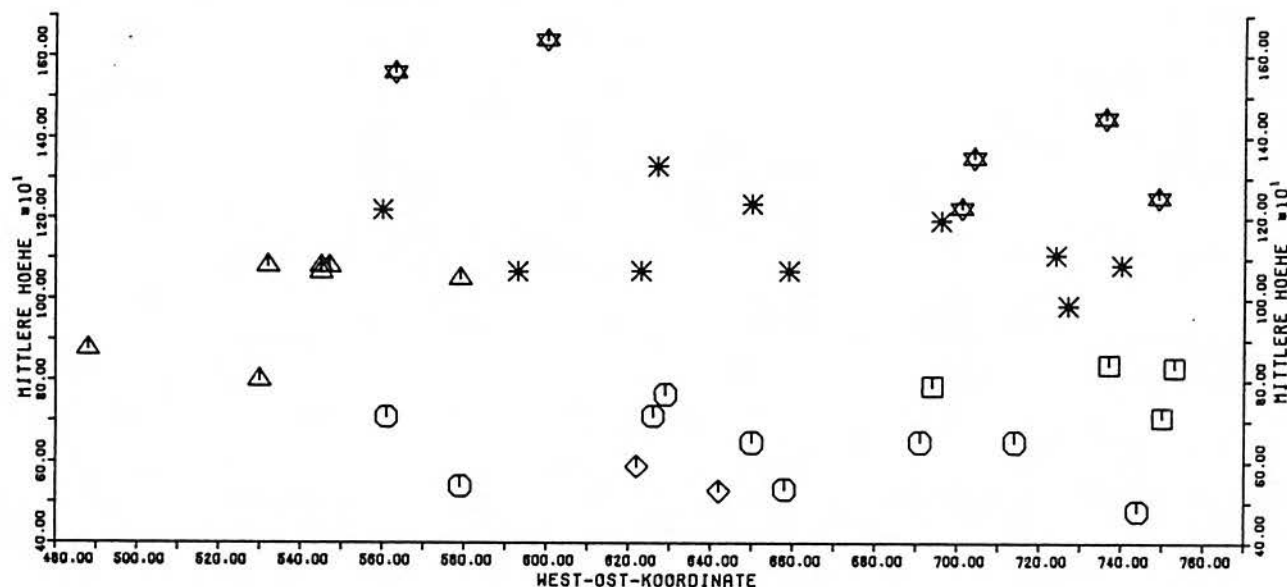
M 5. RAEUMLICHE UEBERTRAGUNG

M 5.1. ZIELSETZUNG

Wir haben in "M 1.2.2. Räumliche Repräsentativität der mittleren Regimekurve" festgestellt, dass über die mittlere Regimekurve die räumliche Variabilität der Abflussverhältnisse sehr gut erfasst und typisiert werden kann. Die ausgeschiedenen Regimetypen lassen ein ähnliches hydrologisches Verhalten erkennen.

Im folgenden wird ein Verfahren vorgestellt, welches es erlaubt, die mittlere Regimekurve an Stellen ohne Direktmessung zu schätzen und über diese Schätzung die Zuordnung zu den einzelnen Regimetypen vorzunehmen. Dadurch wird es möglich sein, wesentliche hydrologische Charakteristika eines ungemessenen Einzugsgebietes zu erkennen.

- ☆ REGIME NIVAL DE TRANSITION
- * REGIME NIVOPLUVIAL PREALPIN
- REGIME PLUVIAL SUPERIEUR
- REGIME PLUVIAL INFERIEUR
- △ REGIME NIVOPLUVIAL JURASSIEN
- ◇ REGIME PLUVIAL JURASSIEN



Figur 24. Die Regimetypen im West-Ost - Hoehendiagramm

Um dieses Ziel zu erreichen, werden, ausgehend von den repräsentativen Stationen, eine FOURIER - Analyse, eine Trendflächenanalyse und eine Identifikationsanalyse durchgeführt. Diesen Weg wählen wir, weil es mit einfachen Raumparametern nicht möglich ist, die Typen räumlich optimal zu trennen (vgl. Figur 24 und "M 5.4.1. Ansatz über die Raumparameter").

M 5.2. FOURIER - ANALYSE

M 5.2.1. Zur FOURIER - Analyse von Abflussregimes

Die FOURIER - Analyse wird in Naturwissenschaft und Technik seit langem erfolgreich zur Untersuchung von rhythmischen Vorgängen angewendet. Als Beispiele aus der Hydrologie seien erwähnt: FITZPATRICK, HART und BROOKFIELD(1966), HERRMANN R.(1970) sowie HERRMANN A. und EGGER (1980,I/II).

Vorgehen: Mittels der Methode der kleinsten Quadrate werden den vorgegebenen Werten - in unserem Fall den 12 Monatskoeffizienten - Sinuskurven angepasst. Die mathematische Formulierung dieser sog. FOURIER - Reihen lautet in der reinen Sinusform:

$$(5.1) \quad y(t) = a_0 + \sum_{k=1}^5 a_k \sin\left(\frac{2\pi}{n} k t + \psi_k\right)$$

wobei: $y(t)$ berechneter Wert zur Zeit t
 t Zeit (t : Januar = 0 ... Dezember = 12)
 n Anzahl Werte der Beobachtungsreihe (Regime: $n = 12$)
 a_0 arith. Mittel der n Beobachtungswerte (Regime: $a_0 = 1$)
 a_k Amplituden der k harmonischen Komponenten
 ψ_k Phasenwinkel der k harmonischen Komponenten
 k harmonische Komponenten (Regime: $k = 1 \dots 6$)

Bei Vorgabe der 12 Monatskoeffizienten der mittleren Regimekurve sind maximal 6 harmonische Komponenten mit insgesamt 12 Parameter (6 Amplituden und 6 Phasenwinkel) berechenbar. Meistens koennen aber bereits mit weniger als 6 harmonischen Komponenten befriedigende Anpassungen an die vorgegebenen Werte erzielt werden (s. unten). Ueber die Berechnung der Teilvarianzen V_k ($k = 1 \dots 6$) und der Gesamtvarianz V nach:

$$(5.2) \quad V_k = \frac{1}{2} a_k^2$$

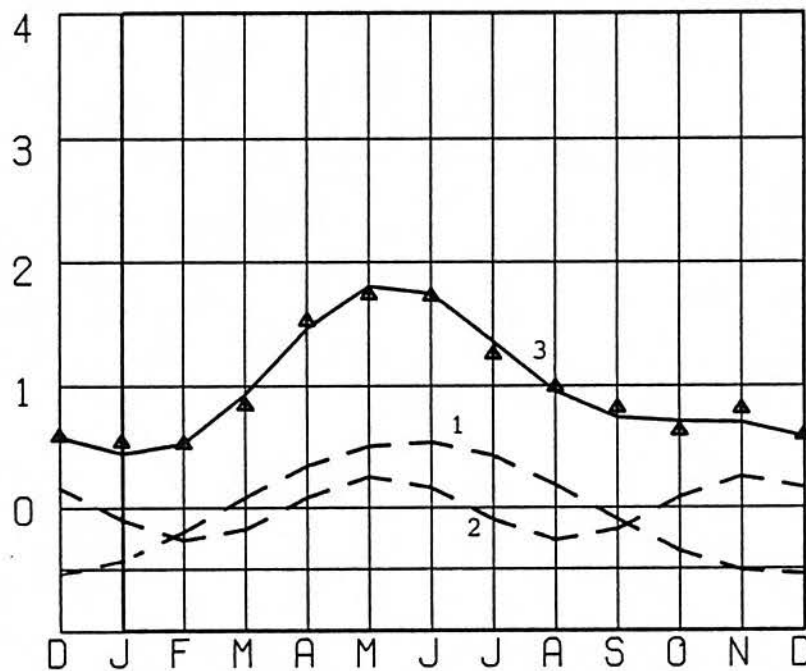
$$(5.3) \quad V = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^5 a_k^2 + a_6^2$$

wobei: a_k Phasenwinkel der k -ten harmonischen Komponenten

kann geprueft werden, wieviel die einzelnen harmonischen Komponenten zur Erklerung der Gesamtvarianz beitragen.

Die mathematischen Grundlagen zur FOURIER - Analyse sind in CONRAD und POLLAK(1962) beschrieben. Zur Berechnung der sog. FOURIER - Koeffizienten, welche fuer die Bestimmung der Amplituden und Phasenwinkel bekannt sein muessen, stehen mathematische Programmbibliotheken zur Verfuegung.

In Figur 25 wird ein Beispiel zur FOURIER - Analyse gegeben: Die Figur zeigt das Ergebnis der Anpassung der vorgegebenen Regimekurve durch die 1. und 2. harmonische Komponente. Die Approximation, welche durch das additive Ueber-



▲ : vorgegebenes, gemessenes Abflussregime

1 : 1. harmonische Komponente
 $h_1(t) = 0.549 \sin(30^\circ t + 309.2^\circ)$

2 : 2. harmonische Komponente
 $h_2(t) = 0.259 \sin(60^\circ t + 200.3^\circ)$

3 : approximiertes Abflussregime
 $y(t) = 1.0 + h_1(t) + h_2(t)$
 [t: Januar = 0 ... Dezember = 11]
 erklärter Varianzanteil: 97.6%

Figur 25. Beispiel einer FOURIER - Analyse des Abflussregimes - Grande Eau Aigle

lagern der beiden harmonischen Komponenten zustande kommt, ist bereits sehr gut: Die Teilvarianzen V_1 und V_2 erklären zusammen beinahe 98% der Gesamtvarianz. Die 1. harmonische Komponente beschreibt einen einfachen Jahresgang (sie hat genau ein Maximum und ein Minimum), die 2. harmonische Komponente einen halbjährlichen Zyklus (zwei Maxima und zwei Minima).

Mit den Amplituden a_1 und a_2 lässt sich indirekt die jährliche Variationsbreite des Regimes beschreiben (Voraussetzung: $V_1 + V_2 \rightarrow 100\%$). Falls $a_1 \gg a_2$ ist, dominiert der einfache Jahresgang; sonst liegt ein mehrgipfliger Kurvenverlauf vor.

Die Phasenwinkel W_k (Regime: $k = 1 \dots 6$) zeigen das zeitliche Auftreten der Maxima und der Minima bei den einzelnen harmonischen Komponenten. Dies wird beispielsweise bei der kartographischen Darstellung des Auftretens maximaler Monatsabflüsse ausgenutzt, indem Linien gleicher Phasenwinkel W_1 die räumliche Variabilität des Maximums aufzeigen. Die Voraussetzung dazu sind wiederum eine gute Approximation durch die 1. harmonische Komponente und $a_1 \gg a_2$.

M 5.2.2. Die Bedeutung der FOURIER - Analyse fuer die Regime-Analyse

Die FOURIER - Analyse erlaubt es, den Regimewandel zwischen bekannten Stationen als Kontinuum zu erfassen. Sie eignet sich deshalb ausgezeichnet fuer die Abschaetzung der Regimes an Stellen ohne Direktmessung. Die Vorteile der FOURIER - Analyse fassen HERRMANN A. und EGGER(1980:I,83) wie folgt zusammen:

"Die Vorzuege der FOURIER - Analyse liegen zweifellos in der objektiven und quantitativen, daher knappen wie reproduzierbaren Ansprache des raeumlich-zeitlichen Wandels einer periodischen Werteaenderung unterworfenen hydrologischen Groesse."

Mit der FOURIER - Analyse wird eine Parameter-Reduktion erzielt. Beispielsweise wird in Figur 26 die mit den 12 Monatskoeffizienten definierte mittlere Regimekurve durch die vier Parameter der FOURIER - Gleichung (2 Amplituden, 2 Phasenwinkel) nahezu vollstaendig beschrieben. I. allg. genuegen nach HERMANN A. und EGGER(1980:I,82) im mitteleuropaeischen Raum die ersten drei harmonischen Komponenten (sechs Parameter), um eine hinreichend genaue Approximation der urspruenglichen mittleren Regimekurve zu erreichen. Diese Feststellung wurde durch unsere Untersuchung bestaetigt. Die Vorteile einer Reduktion der Parameter im Hinblick auf eine Trendflaechenanalyse oder im Hinblick auf eine Modellierung muessen hier nicht besonders erwaehnt werden.

Die Kartierung einzelner Parameter - insbesondere des Phasenwinkels ω_1 und der Amplitude a_1 - erlaubt bereits gute Einblicke in das hydrologische Verhalten des Untersuchungsraumes (vgl. Teil III, Kap. S 3.2.).

M 5.2.3. FOURIER - Analyse der Abflussregimes der repraesentativen Stationen

Die wichtigsten Ergebnisse der Anwendung der FOURIER - Analyse auf die mittleren Abflussregimes der repraesentativen Stationen sind in Tabelle 13 zusammengestellt. Die Analyse der Teilvarianzen zeigt, dass mit den ersten drei harmonische Komponenten die Gesamtvarianz i.allg. sehr gut beschrieben werden kann: Bis zur 3. harmonischen Komponente nimmt der Erklaerungsanteil an der Gesamtvarianz stark zu; ab der 4. harmonischen Komponente wird der Gewinn an der Gesamtvarianz besonders im Vergleich zur hoeheren Parameterzahl nur unwesentlich groesser. Verhaeltnismaessig schlecht angenaehert werden mit den ersten drei harmonische Komponenten jene Regimes, welche einen sehr unruhigen Regimeverlauf aufweisen (insbesondere Regimes des Typs 'pluvial superieur'). Bei diesen ist die FOURIER-Approximation auch mit allen sechs harmonische Komponenten relativ schlecht. Das Praedikat "relativ schlecht" bezieht sich auf die Beschreibung der einzelnen sekundaeren Maxima und Minima, aber nicht auf den generellen Jahresgang, welcher auch bei diesen zufriedenstellend erfasst wird (vgl. Figur 26).

Fuer die Beurteilung des Verfahrens eignet sich die "Hydrologische Deviation" nach SCHULTZ(1967:50ff). Sie ist ein objektives Mass, welches die Guete der Approximation der berechneten an die geschaetzte Regimekurve beschreibt und nach Formel (5.4) berechnet wird:

Tabelle 13. Ergebnisse der FOURIER - Analyse der mittleren Abflussregimes der repraesentativen Stationen

TEILVARIANZEN Werte in %

| Station | Vari | a1 | a2 | a3 | W1 | W2 | W3 | 1. | -2. | -3. | -4. | -5. | -6. |
|----------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-------|-------|
| GRAN3556 | 0.19 | 0.55 | 0.26 | 0.05 | 309 | 200 | 139 | 79.8 | 97.6 | 98.3 | 98.3 | 100.0 | 100.0 |
| SIM02180 | 0.24 | 0.66 | 0.19 | 0.05 | 294 | 177 | 135 | 91.0 | 98.7 | 99.2 | 99.9 | 100.0 | 100.0 |
| SITA2367 | 0.14 | 0.51 | 0.12 | 0.04 | 301 | 189 | 185 | 93.2 | 98.2 | 98.8 | 99.2 | 99.7 | 99.9 |
| TURB2274 | 0.12 | 0.46 | 0.16 | 0.07 | 314 | 215 | 208 | 86.7 | 98.7 | 98.7 | 99.8 | 100.0 | 100.0 |
| TURS6480 | 0.40 | 0.83 | 0.31 | 0.02 | 298 | 173 | 30 | 85.1 | 95.8 | 98.0 | 98.6 | 99.8 | 99.9 |
| MINS6180 | 0.39 | 0.77 | 0.36 | 0.15 | 310 | 205 | 131 | 76.9 | 93.6 | 96.5 | 99.4 | 99.4 | 99.7 |
| SILU2136 | 0.22 | 0.59 | 0.26 | 0.10 | 301 | 215 | 112 | 79.0 | 94.7 | 96.9 | 99.1 | 99.4 | 99.7 |
| KLEW1735 | 0.13 | 0.44 | 0.24 | 0.10 | 321 | 209 | 142 | 72.7 | 93.5 | 97.5 | 99.7 | 99.9 | 100.0 |
| BAYE3373 | 0.13 | 0.42 | 0.25 | 0.07 | 322 | 230 | 167 | 70.5 | 95.1 | 97.2 | 97.7 | 99.8 | 99.9 |
| EMEG3174 | 0.22 | 0.56 | 0.29 | 0.15 | 322 | 234 | 166 | 73.1 | 92.1 | 97.2 | 98.7 | 99.7 | 99.8 |
| KLEM3677 | 0.10 | 0.39 | 0.14 | 0.08 | 320 | 211 | 201 | 81.6 | 92.3 | 95.6 | 96.0 | 100.0 | 100.0 |
| ALPT2550 | 0.17 | 0.50 | 0.24 | 0.14 | 312 | 241 | 187 | 73.6 | 90.3 | 96.3 | 97.8 | 99.8 | 99.9 |
| EMEM2980 | 0.11 | 0.42 | 0.15 | 0.10 | 326 | 237 | 220 | 82.7 | 93.5 | 98.3 | 98.3 | 100.0 | 100.0 |
| NECK1733 | 0.07 | 0.28 | 0.13 | 0.14 | 322 | 208 | 199 | 57.6 | 69.8 | 85.1 | 89.6 | 91.4 | 95.7 |
| SEHS2876 | 0.06 | 0.31 | 0.16 | 0.06 | 331 | 232 | 200 | 74.4 | 94.2 | 97.0 | 97.3 | 99.9 | 100.0 |
| URNA6280 | 0.15 | 0.47 | 0.18 | 0.12 | 321 | 227 | 179 | 74.1 | 85.4 | 90.4 | 91.0 | 92.6 | 96.3 |
| GLAH6180 | 0.04 | 0.24 | 0.02 | 0.08 | 351 | 273 | 234 | 63.5 | 64.1 | 71.1 | 73.3 | 75.5 | 87.8 |
| GOLD6280 | 0.06 | 0.27 | 0.05 | 0.10 | 346 | 267 | 207 | 57.9 | 59.6 | 68.1 | 69.2 | 71.9 | 86.0 |
| STEA6280 | 0.02 | 0.18 | 0.01 | 0.05 | 339 | 268 | 220 | 68.5 | 68.6 | 74.5 | 76.5 | 81.7 | 90.9 |
| TOEW6582 | 0.06 | 0.27 | 0.04 | 0.11 | 22 | 70 | 252 | 62.9 | 64.4 | 74.0 | 75.2 | 77.4 | 88.7 |
| BROY2180 | 0.10 | 0.43 | 0.05 | 0.08 | 67 | 331 | 275 | 92.9 | 94.0 | 97.5 | 99.3 | 99.8 | 99.9 |
| LANL2480 | 0.02 | 0.17 | 0.02 | 0.04 | 36 | 38 | 293 | 89.3 | 90.2 | 96.0 | 99.3 | 100.0 | 100.0 |
| TOES2180 | 0.03 | 0.24 | 0.04 | 0.07 | 23 | 62 | 272 | 85.3 | 87.3 | 94.6 | 97.2 | 99.4 | 99.7 |
| AACH6280 | 0.07 | 0.33 | 0.08 | 0.03 | 50 | 120 | 286 | 79.9 | 84.2 | 85.1 | 91.8 | 98.0 | 99.0 |
| BIBK5680 | 0.06 | 0.33 | 0.04 | 0.04 | 67 | 48 | 324 | 94.0 | 95.2 | 96.8 | 99.3 | 99.8 | 99.9 |
| BUNZ5780 | 0.04 | 0.22 | 0.12 | 0.05 | 48 | 51 | 292 | 63.1 | 80.6 | 84.6 | 87.9 | 89.3 | 94.6 |
| LANH6680 | 0.02 | 0.18 | 0.03 | 0.05 | 23 | 103 | 274 | 69.5 | 71.3 | 76.9 | 83.1 | 88.6 | 94.3 |
| MURW5480 | 0.04 | 0.26 | 0.08 | 0.03 | 39 | 64 | 261 | 77.0 | 84.4 | 85.2 | 87.2 | 88.2 | 94.1 |
| WYNA5380 | 0.05 | 0.26 | 0.12 | 0.06 | 39 | 58 | 290 | 68.5 | 82.3 | 85.4 | 87.5 | 89.0 | 94.5 |
| GUER2380 | 0.03 | 0.24 | 0.09 | 0.01 | 336 | 192 | 305 | 82.6 | 94.2 | 94.5 | 98.6 | 99.8 | 99.9 |
| VENO4878 | 0.20 | 0.59 | 0.17 | 0.12 | 44 | 265 | 187 | 86.1 | 93.6 | 97.2 | 97.9 | 99.9 | 100.0 |
| AREC4980 | 0.11 | 0.40 | 0.17 | 0.16 | 40 | 260 | 224 | 68.3 | 80.3 | 92.0 | 92.7 | 97.8 | 98.9 |
| ARE55980 | 0.13 | 0.39 | 0.21 | 0.18 | 40 | 254 | 216 | 60.3 | 76.8 | 89.6 | 89.7 | 93.4 | 96.7 |
| LOND1835 | 0.12 | 0.41 | 0.23 | 0.11 | 50 | 227 | 166 | 71.8 | 94.9 | 99.9 | 99.9 | 100.0 | 100.0 |
| NOIR5979 | 0.14 | 0.44 | 0.18 | 0.20 | 36 | 260 | 212 | 70.2 | 82.4 | 96.5 | 96.6 | 98.2 | 99.1 |
| SUZE6180 | 0.11 | 0.41 | 0.14 | 0.14 | 26 | 244 | 205 | 73.4 | 81.6 | 90.6 | 91.0 | 92.7 | 96.3 |
| BIED6480 | 0.12 | 0.44 | 0.08 | 0.11 | 43 | 262 | 235 | 81.0 | 83.7 | 88.6 | 90.0 | 93.2 | 96.6 |
| BIRM1780 | 0.05 | 0.29 | 0.05 | 0.05 | 33 | 210 | 224 | 90.9 | 93.8 | 96.8 | 97.6 | 99.9 | 100.0 |
| ERGL3480 | 0.11 | 0.45 | 0.10 | 0.08 | 53 | 63 | 298 | 87.7 | 92.0 | 95.1 | 96.8 | 99.8 | 99.9 |
| SISS5980 | 0.21 | 0.63 | 0.08 | 0.05 | 59 | 67 | 205 | 94.6 | 96.1 | 96.7 | 98.0 | 98.6 | 99.3 |

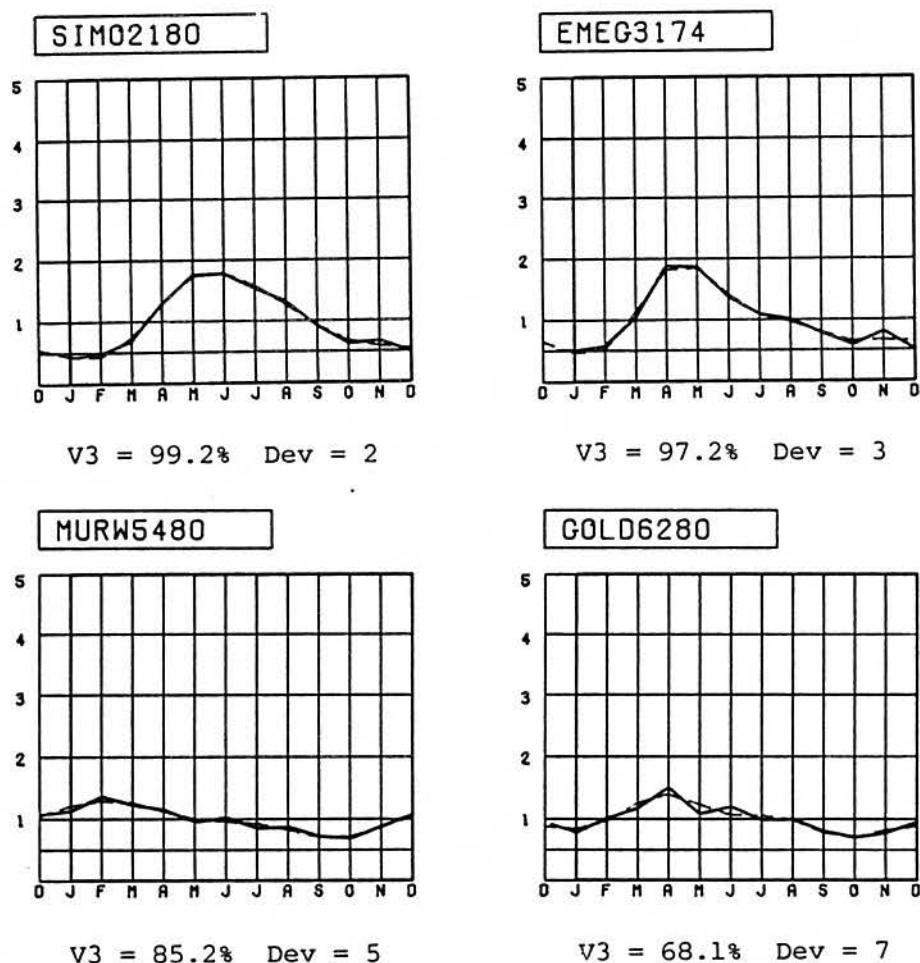
Vari: Gesamtvarianz a: Amplituden
 W: Phasenwinkel 1: 1. harm. Komponente
 2: 2. harm. Komp. 3: 3. harm. Komponente

$$(5.4) \quad dev = 200 \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i \text{ beob} - Q_i \text{ ber})^2}{n (Q_{\max, \text{beob}})^2}$$

wobei: dev: hydrologische Deviation
 n: Anzahl Beobachtungen (n = 12)
 Qi: Abflusskoeffizient (i=1 ... 12)
 Qmax: groesster Abflusskoeffizient
 beob: beobachtet
 ber: berechnet

Wie der Formel (5.4) zu entnehmen ist, werden die Abweichungen im Maximalbereich besonders gewichtet. Nach SCHULTZ(1967:52) bedeuten:

dev ≤ 3 : sehr gute Anpassung dev > 18: unbrauchbare Anpassung
 3 < dev ≤ 10: gute Anpassung
 10 < dev ≤ 18: brauchbare Anpassung



Figur 26. Approximation durch die FOURIER - Analyse: Dargestellt ist die Approximation der urspruenglichen Werte (durchgezogene Linie) durch die ersten drei harmonischen Komponenten (unterbrochene Linie). Mit der Simme-Oberwil wird die beste, mit der Goldach die schlechteste Approximation unter den repraesentativen Stationen erfasst.
V3: Erklarungsanteil der ersten drei harmonischen Komponenten;
Dev: Deviation nach SCHULTZ.

In Tabelle 14 sind die SCHULTZ'schen Deviationen, welche sich bei der FOURIER-Approximation der beobachteten mittleren Regimekurven ergeben, festgehalten:

Wiederum sind von der 1. bis zur 3. harmonische Komponente wesentliche Verbesserungen erkennbar. Die ersten drei harmonische Komponenten zusammen vermoegen die urspruenglichen Werte i.allg. "gut" und in rund einem Drittel der Faelle sogar "sehr gut" zu beschreiben.

Trotz dieser insgesamt zufriedenstellenden Resultaten bestehen einige unloesbare, methodenspezifische Probleme: Bei einigen vor allem hoeher gelegenen, repraesentativen Stationen wird die Lage des Maximums falsch geschaeetzt (± 1 Monat). Dieser Fehler laesst sich auch bei einer Annaeherung mit allen sechs harmonische Komponenten nicht vermeiden. Auf diesen Punkt werden wir im naechsten Kapitel nochmals zu sprechen kommen, da dort fuer die ersten drei harmonischen Komponenten je eine Trendflaeche berechnet wird, obwohl die Datenbasis (FOURIER-Approximation) in einigen Faellen die Lage des Maximums nur ungenau beschreibt.

Tabelle 14. Hydrologische Deviationen der FOURIER-Approximation: Berechnung der Deviation s. (5.4).

| Station | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | Station | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
|----------|----|----|----|----|----|----------|----|----|----|----|----|
| GRAN3556 | 12 | 4 | 4 | 4 | 0 | BROY2180 | 7 | 6 | 3 | 2 | 1 |
| SIM02180 | 8 | 3 | 2 | 1 | 0 | LANL2480 | 5 | 5 | 3 | 1 | 0 |
| SITA2367 | 6 | 3 | 2 | 2 | 1 | TOES2180 | 7 | 6 | 4 | 3 | 1 |
| TURS6480 | 9 | 3 | 2 | 1 | 0 | AACH6280 | 9 | 8 | 8 | 6 | 2 |
| TURB2274 | 10 | 5 | 4 | 3 | 1 | BIBK5680 | 5 | 4 | 4 | 2 | 0 |
| MINS6180 | 10 | 6 | 4 | 1 | 1 | BUNZ5780 | 8 | 5 | 4 | 3 | 3 |
| SILU2136 | 11 | 5 | 3 | 2 | 1 | LANH6680 | 8 | 7 | 7 | 5 | 3 |
| KLEW1735 | 11 | 6 | 3 | 1 | 0 | MURW5480 | 7 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| BAYE3373 | 12 | 5 | 4 | 4 | 1 | WYNA5380 | 9 | 6 | 5 | 4 | 4 |
| EMEG3174 | 13 | 7 | 3 | 2 | 1 | GUER2380 | 8 | 4 | 4 | 2 | 1 |
| KLEM3677 | 10 | 6 | 5 | 5 | 0 | VENO4878 | 9 | 6 | 4 | 4 | 0 |
| ALPT2550 | 11 | 7 | 4 | 3 | 1 | AREC4980 | 12 | 9 | 5 | 5 | 2 |
| EMEM2980 | 8 | 6 | 3 | 3 | 0 | ARES5980 | 12 | 9 | 5 | 5 | 3 |
| NECK1733 | 10 | 9 | 5 | 4 | 3 | LOND1835 | 15 | 6 | 1 | 1 | 0 |
| SENS2876 | 9 | 4 | 3 | 3 | 0 | NOIR5979 | 12 | 9 | 3 | 3 | 2 |
| URNA6280 | 10 | 7 | 5 | 4 | 3 | SUZE6180 | 9 | 7 | 5 | 4 | 3 |
| GLAH6180 | 8 | 8 | 7 | 6 | 6 | BIED6480 | 9 | 9 | 7 | 6 | 4 |
| GULD6280 | 8 | 8 | 7 | 6 | 6 | BIRM1780 | 7 | 5 | 3 | 3 | 0 |
| STEA6280 | 7 | 7 | 6 | 5 | 4 | ERGL3480 | 8 | 6 | 4 | 4 | 1 |
| TOEW6582 | 10 | 10 | 8 | 7 | 7 | SISS5980 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 |

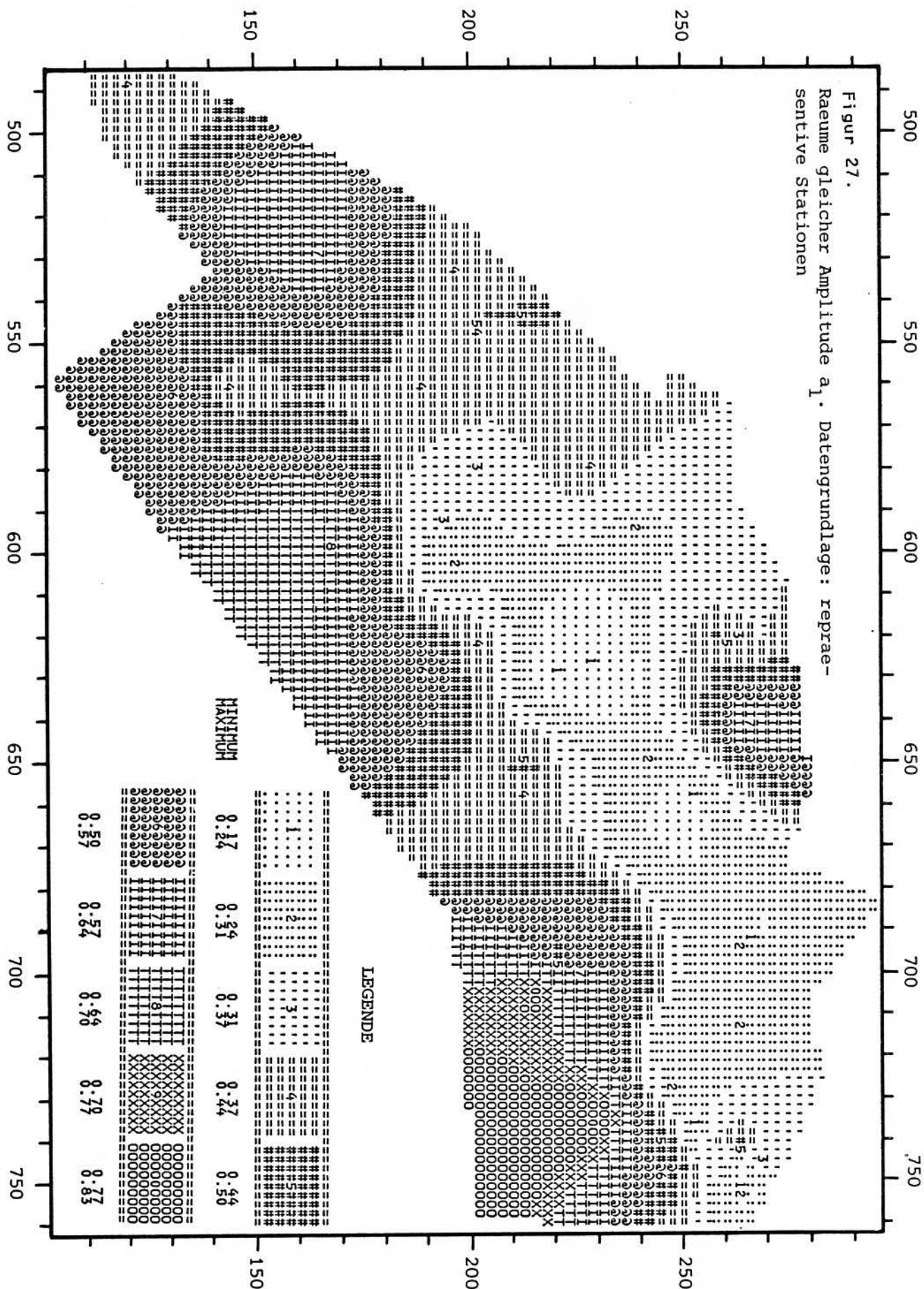
1. bedeutet 1. harm. Komponente

Die Amplituden a_1 und a_2 in Tabelle 13 zeigen, dass bei allen repräsentativen Stationen der einfache Jahresgang dominiert. In Figur 27 sind die Räume gleicher Amplitude a_1 kartiert:

- Die Variationsbreite der mittleren Regimes nimmt mit zunehmender Entfernung vom Alpenkamm ab (\Rightarrow Abnahme der mittleren und maximalen Einzugsgebietshöhe);
- Die Regimes im westlichen Mittelland ("Plateau Suisse") zeigen grössere Variationsbreiten als jene im zentralen und östlichen Mittelland; sie heben sich hingegen nicht vom Jura ab.

Der Phasenwinkel W_1 lässt unter der Bedingung $a_1 \gg a_2, a_3$ Schlüsse auf die zeitliche Lage des Maximums und des Minimums zu, sofern die Annäherung durch die erste harmonische Komponente bereits gut ist. Im vorliegenden Fall ist die Approximation durch die 1. harmonische Komponente recht unterschiedlich, wie Tabelle 13 (Teilvarianzen) zeigt, so dass wir uns auf das wichtigste Resultat der hier nicht aufgeführten Isolinien - Darstellung beschränken wollen: auf die deutliche Differenzierung in eine voralpine und eine mittellaendisch - jurassische Zone. Diese beiden Zonen sind durch ein schmales Übergangsgebiet getrennt. Die Umsetzung des Phasenwinkels W_1 auf die Lage des Hauptmaximums und des Hauptminimums ergibt folgendes Bild:

- voralpine Zone (entspricht ungefähr dem Verbreitungsgebiet des 'régime nival de transition' und des 'régime nivo-pluvial préalpin')
 - Maximum zwischen 110 und 170 Grad \Rightarrow April - Juni
 - Minimum zwischen 290 und 350 Grad \Rightarrow Oktober - Dezember
- mittellaendisch - jurassische Zone (restliche Regimetypen)
 - Maximum zwischen 20 und 70 Grad \Rightarrow Januar - März
 - Minimum zwischen 200 und 250 Grad \Rightarrow Juli - August



Der Vergleich dieser Resultate mit der vorgenommenen Typisierung zeigt, dass bereits mit der 1. harmonischen Komponente (mit zwei Parameter) wesentliche Grundzuege erkannt werden koennen.

M 5.3. TRENDFLAECHEANALYSE ZUR SCHAETZUNG DER MITTLEREN REGIMEKURVE AN STELLEN OHNE DIREKTMESSUNG

M 5.3.1. Ansatz

Ziel dieses Schrittes ist es, die Amplituden (a) und Phasenwinkel (W) der ersten drei harmonische Komponenten in Funktion der raeumlichen Lage eines Einzugsgebietes (x-, y-Koordinaten einer (hypothetischen) Messstelle) auszudruecken. Dazu werden auf der Grundlage der repraesentativen Stationen und deren harmonischen Komponenten Trendflaechenberechnungen durchgefuehrt:

$$(5.5) \quad a_1, a_2, a_3 = f(x, y)$$

$$(5.6) \quad W_1, W_2, W_3 = f(x, y)$$

Um optimale Resultate zu erzielen, duerfen nur die Daten autochthoner Einzugsgebiete verwendet werden. Gute Annaeherungen durch Trendflaechen werden i. allg. mittels Polynomen erzielt. Daher wurden die Trendflaechen mit den Polynomen 1. bis 6. Grades berechnet. Der Vergleich dieser Resultate zeigt, dass unbedingt mit dem Polynom 6. Grades gearbeitet werden muss, um befriedigende Resultate zu erzielen, da die Bestimmtheitsmasse bei den Polynomen < 6. Grades wesentlich schlechter sind (wobei natuerlich von Fall zu Fall etwas zu differenzieren ist). Das Bestimmtheitsmass B^2 zeigt die Guete der Anpassung durch die jeweilige Trendflaeche.

==> Unter der Voraussetzung einer genuegend grossen Varianzerklaerung der Trendflaechen koennen fuer ein hydrologisch unbekanntes Einzugsgebiet ueber die x-, y-Koordinaten der hypothetischen Messstelle nach (5.5) und (5.6) die Amplituden und Phasenwinkel berechnet und mit diesen Grundlagen nach (5.1) die mittlere Regimekurve geschaetzt werden.

M 5.3.2. Die Schaetzung der mittleren Regimekurve

Aus Figur 27 geht hervor, dass der Wandel der Amplitude a_1 mehr oder weniger eine Funktion der Entfernung vom Alpenkamm ist. Ein aehnliches Verhalten kann auch beim Phasenwinkel W_1 beobachtet werden. In der Variablen "Entfernung vom Alpenkamm" sind Parameter wie 'mittlere und maximale Einzugsgebietshoehe' oder auch 'Nivalitaet' (Dauer und Ausmass der Schneedecke) eingeschlossen, so dass diese Variable einen hohen Erklaerungswert besitzt. Aus diesem Grunde wurde das orthogonale, Nord-Sued orientierte schweizerische Koordinatennetz derart gedreht, dass nun die x-Achse parallel zum Alpenkamm liegt:

$$(5.7a) \quad x' = x \cos a + y \sin a$$

$$(5.7b) \quad y' = -x \sin a + y \cos a$$

x,y: Koordinaten des Nord-Süd orientierten Systems
 x',y': Koordinaten im gedrehten System
 a : Drehwinkel, im vorliegenden Fall $a = 28$ Grad.

Die Trendflaechen fuer die einzelnen Parameter ($a_1 - a_3$, $W_1 - W_3$) wurden in der Folge im gedrehten System berechnet. Die hoechsten Bestimmtheitsmasse werden erzielt, wenn die jurassischen Stationen ausgeklammert werden, da dort die Entfernung vom Alpenrand keinen grossen Erklaerungswert mehr hat, was die Anpassung durch die Trendflaechen bedeutend erschwert.

Tabelle 15. Bestimmtheitsmasse der Trendflaechenberechnung

| Koordinaten-System | Kombination | Amplituden | | | Phasenwinkel | | |
|--------------------|-------------|------------|------|------|--------------|------|------|
| | | a1 | a2 | a3 | W1 | W2 | W3 |
| Alpenkamm-parallel | 1 | 0.91 | 0.89 | 0.82 | 0.96 | 0.89 | 0.83 |
| Alpenkamm-parallel | 2 | 0.93 | 0.89 | 0.78 | 0.90 | 0.84 | 0.83 |
| Alpenkamm-parallel | 3 | 0.97 | 0.92 | 0.85 | 0.94 | 0.91 | 0.89 |

1: Alle repraesentativen Stationen
 2: wie 1 und alpin-nivale repraesentative Stationen
 3: wie 2, aber ohne jurass. Stationen mit Eubach usf. (s. Text)

Um im Uebergangsgebiet zu den alpinen Regimes besser abgestuetzte Trendflaechen zu erhalten, haben wir zusaetzlich zu den repraesentativen Stationen die alpin nivalen, repraesentativen Stationen (vgl. Teil I, Zusammenfassung) sowie den Eubach, den Rappen- und Sperbelgraben und den Schwendibach in die Berechnung miteinbezogen. Letztere vier Einzugsgebiete sind kleiner als 10 km^2 ; sie sind also definitionsgemaess nicht repraesentativ. Dank ihrer langen Messreihen (> 15 Jahre) werden sie hier dennoch beruecksichtigt. Die Tabelle 15 zeigt die Guete der Anpassung fuer verschiedene Kombinationen von Stationen. Die Kombination 3 gibt insgesamt die besten Resultate: Die raeumliche Variabilitaet der Amplituden und Phasenwinkel wird hier sehr gut erfasst. Wir werden im folgenden auf den Trendflaechenberechnungen der Kombination 3 aufbauen. Da die jurassischen Stationen hierbei nicht einbezogen sind, lassen sich die Gleichungen der Trendflaechen nur auf den Voralpenraum und das Mittelland anwenden. Auf die sich daraus ergebenden Konsequenzen treten wir in Kap. M 5.4.2. ein.

Die mittels der Trendflaechenanalyse und der FOURIER - Gleichung (5.1) mit drei harmonischen Komponenten geschaetzten mittleren Regimekurven sind im Anhang zum Teil II fuer ein 10-km - Raster im normalen Koordinatensystem tabelliert. Tabelle 16 zeigt einen Ausschnitt.

In der praktischen Anwendung sucht man sich am besten denjenigen Rasterpunkt, welcher der ungemessenen, durch die x-, und y-Koordinate raeumlich festgelegten Stelle am naechsten liegt. Eine Berechnung aufgrund der effektiven Koordinaten dieser hypothetischen Abflussmessstelle ist aufwendig und steht in keinem Verhaeltnis zum Genauigkeitsgewinn.

Tabelle 16. Synthetische Abflussregimes: Auszug aus dem Anhang.

| Koord. | JAN | FEB | MARZ | APR | MAI | JUN | JUL | AUG | SEP | OKT | NOV | DEZ | Typ |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------------------|------|------|------|
| 560 130 | 0.73 | 0.63 | 0.88 | 1.38 | 1.67 | 1.57 | 1.27 | 0.96 | 0.70 | 0.61 | 0.74 | 0.84 | I |
| 570 130 | 0.07 | 0.32 | 0.98 | 1.67 | 1.90 | 1.63 | 1.25 | 1.11 | 1.13 | 1.02 | 0.67 | 0.25 | II |
| 510 140 | 1.67 | 1.80 | 1.03 | 0.66 | 1.01 | 1.00 | 0.48 | 0.53 | 1.14 | 1.18 | 0.67 | 0.83 | IIIB |
| 560 140 | 0.61 | 0.70 | 1.10 | 1.53 | 1.63 | 1.42 | 1.15 | 0.93 | 0.77 | 0.71 | 0.74 | 0.71 | II |
| 570 140 | 0.27 | 0.51 | 1.07 | 1.60 | 1.74 | 1.50 | 1.22 | 1.10 | 1.05 | 0.90 | 0.64 | 0.38 | II |
| 520 150 | 1.51 | 1.50 | 1.42 | 1.49 | 1.21 | 0.52 | 0.25 | 0.68 | 0.99 | 0.74 | 0.61 | 1.07 | IIIA |
| 530 150 | 1.15 | 1.17 | 1.48 | 1.70 | 1.33 | 0.70 | 0.51 | 0.69 | 0.72 | 0.64 | 0.81 | 1.10 | IIIA |
| 540 150 | 0.96 | 1.06 | 1.43 | 1.65 | 1.41 | 0.99 | 0.78 | 0.69 | 0.57 | 0.60 | 0.85 | 1.00 | IVA |
| 550 150 | 0.83 | 0.96 | 1.33 | 1.59 | 1.50 | 1.23 | 0.98 | 0.75 | 0.58 | 0.60 | 0.78 | 0.87 | II |
| 560 150 | 0.69 | 0.83 | 1.20 | 1.55 | 1.61 | 1.41 | 1.13 | 0.85 | 0.66 | 0.4 | | | |
| 570 150 | 0.48 | 0.63 | 1.08 | 1.55 | 1.71 | 1.54 | 1.24 | 0.98 | 0.8 | | | | |
| 520 160 | 1.49 | 1.57 | 1.62 | 1.64 | 1.20 | 0.42 | 0.13 | 0.53 | 0 | | | | |
| 530 160 | 1.19 | 1.28 | 1.61 | 1.77 | 1.32 | 0.64 | 0.40 | 0.53 | | | | | |
| 540 160 | 1.03 | 1.17 | 1.54 | 1.70 | 1.40 | 0.94 | 0.67 | 0. | | | | | |
| 550 160 | 0.93 | 1.09 | 1.43 | 1.62 | 1.48 | 1.18 | 0.89 | | I | 'régime nival de transition' | | | |
| 560 160 | 0.82 | 0.98 | 1.30 | 1.56 | 1.56 | 1.36 | 1.06 | | II | 'régime nivo-pluvial préalpin' | | | |
| 570 160 | 0.69 | 0.82 | 1.16 | 1.51 | 1.64 | 1.51 | 1. | | IIIA | 'régime pluvial supérieur' | | | |
| 580 160 | 0.53 | 0.62 | 1.01 | 1.49 | 1.72 | 1.62 | | | IIIB | 'régime pluvial inférieur' | | | |
| 530 170 | 1.24 | 1.34 | 1.65 | 1.73 | 1.22 | 0. | | | IVA | 'régime nivo-pluvial jurassien' | | | |
| 540 170 | | | 1.27 | 1.60 | 1.67 | 1.2 | | | IVB | 'régime pluvial jurassien' | | | |

M 5.3.3. Ueberpruefung des Schaetzverfahrens

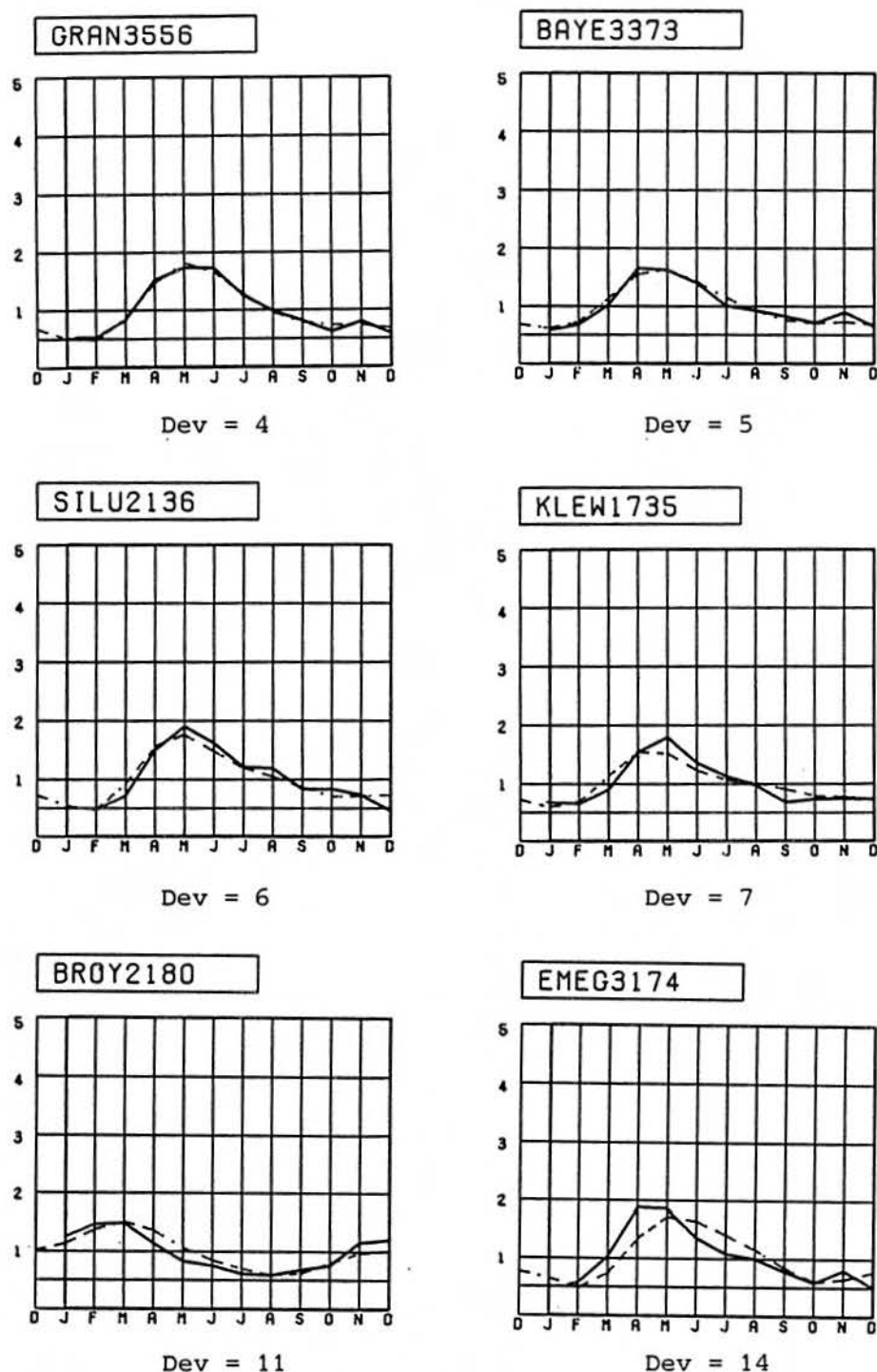
Um optimale Resultate zu erzielen, mussten saemtliche repraesentativen Stationen in die Trendflaechenberechnung miteinbezogen werden. Es ist deshalb in einem ersten Schritt unumaenglich, eine Ueberpruefung der Schaetzung an diesen Stationen vorzunehmen. Dadurch wird es aber moeglich sein, den Genauigkeitsverlust durch die FOURIER - Approximation und die Trendflaechenberechnung abzuschuetzen.

Tabelle 17. Ueberpruefung des Schaetzverfahrens: Vergleich der gemessenen und der geschaezten mittleren Regimekurven der repraesentativen Stationen mittels der Hydrologischen Deviation nach SCHULTZ.

| Station | F | T | Station | F | T |
|----------|---|----|----------|---|----|
| GRAN3556 | 4 | 4 | GLAH6180 | 7 | 9 |
| SIMO2180 | 2 | 5 | GOLD6280 | 7 | 7 |
| SITA2367 | 2 | 7 | STEA6280 | 6 | 11 |
| TURS6480 | 2 | 7 | TOEW6582 | 8 | 8 |
| MINS6180 | 4 | 5 | PROY2180 | 3 | 11 |
| SILU2136 | 3 | 6 | LANL2480 | 3 | 5 |
| KLEW1735 | 3 | 7 | TOES2180 | 4 | 5 |
| BAYE3373 | 4 | 5 | AACH6280 | 8 | 10 |
| EMEG3174 | 3 | 14 | BIBK5680 | 4 | 6 |
| KLEM3677 | 5 | 8 | BUNZ5780 | 4 | 5 |
| ALPT2550 | 4 | 11 | LANH6680 | 7 | 9 |
| EMEM2980 | 3 | 5 | MURW5480 | 5 | 5 |
| NECK1733 | 5 | 8 | WYNA5380 | 5 | 6 |
| SENS2876 | 3 | 13 | GUER2380 | 4 | 12 |
| URNA6280 | 5 | 7 | VENO4878 | 4 | 4 |

F: Deviationen nach der FOURIER-Analyse
T: Deviationen nach der FOURIER-Analyse
und der Trendflaechenanalyse

Aufgrund der x-, y-Koordinaten der repraesentativen Stationen wurden die mittleren Regimekurven geschaezt und ueber die Deviation nach SCHULTZ mit den urspruenglichen Werten verglichen. In Tabelle 17 sind die Deviationen nach der FOURIER - Analyse (F) denjenigen nach der Trendflaechenanalyse (T) gegenuebergestellt: Wegen der nicht vollumfaenglichen Anpassung durch die Trendflaechen muss ein Genauigkeitsverlust hingenommen werden. Bewegten sich nach der FOURIER

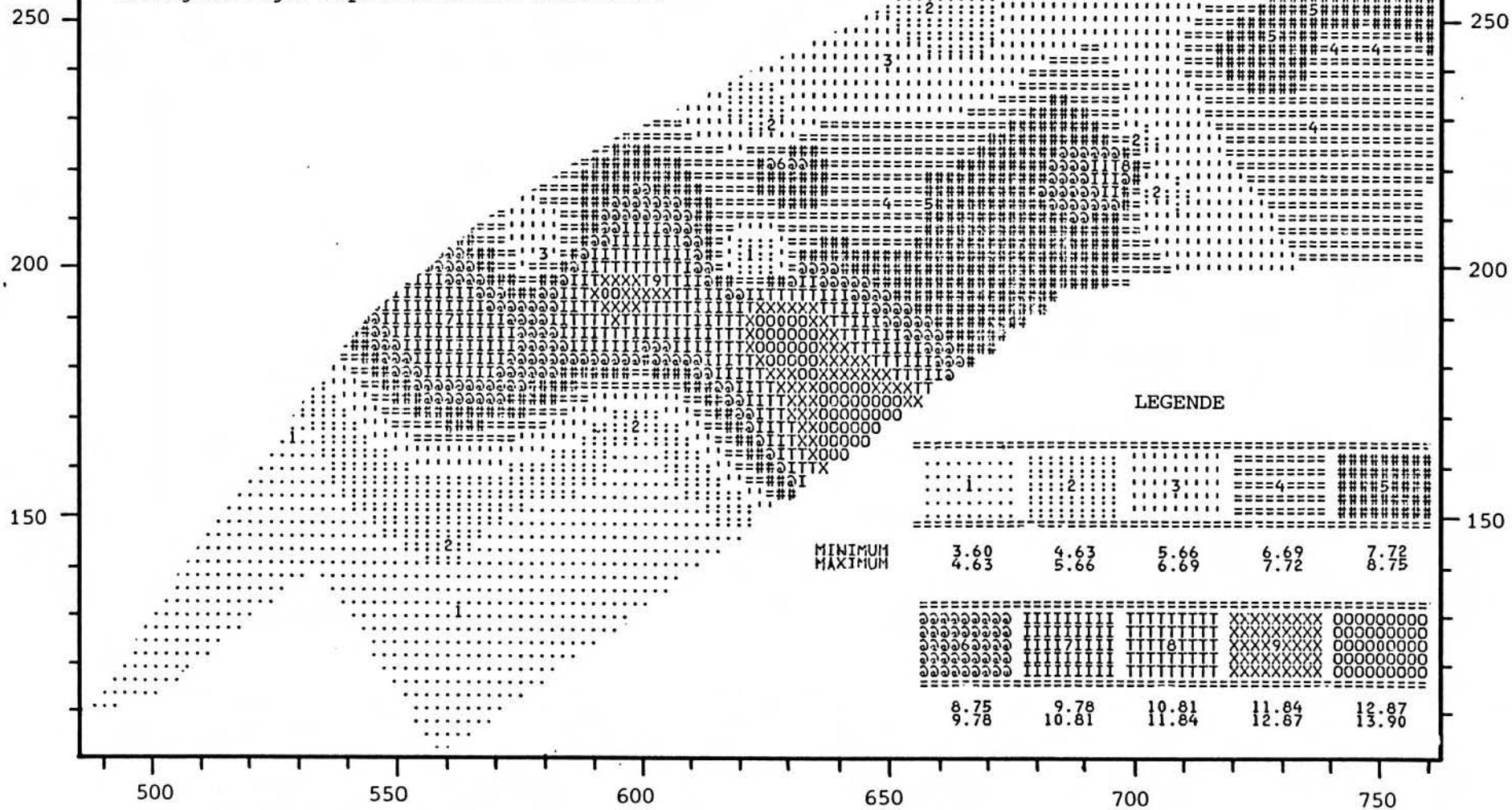


Figur 28. Approximation der urspruenglichen Werte durch die FOURIER - Analyse und die Trendflaechenanalyse: Mit der Grande Eau wird die beste, mit der Emme - Eggiwil die schlechteste Approximation unter den repraesentativen Stationen erfasst.

- Analyse die Deviationen im Bereich "sehr gut" bis "gut", so verschiebt sich nun die Beurteilung nach "gut" bis "zufriedenstellend", wobei die "guten" Anpassungen ueberwiegen. Die Figur 28 zeigt dazu sechs ausgewaehlte Beispiele. In Figur 29 sind die in Tabelle 17 ausgewiesenen Deviationen mittels Isolinien dargestellt:

500 550 600 650 700 750

Figur 29.
Die räumliche Variabilität der Güte der Schätzung
der mittleren Regimekurve (Deviation nach SCHULTZ).
Datengrundlage: repräsentative Stationen.



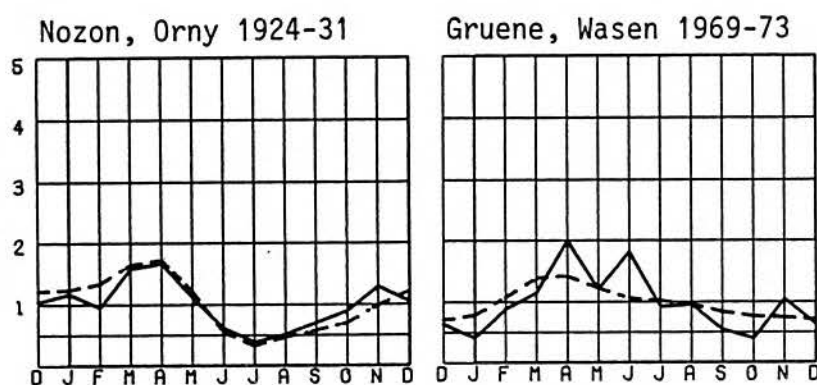
- Die ausgeglichenen mittleren Regimes des tieferen Mittellandes werden i.allg. gut geschätzt;
- Im oestlichen, tieferen Mittelland ergeben sich insofern Probleme, als die unruhigen Regimes des Typs 'pluvial supérieur' schon bei der FOURIER - Analyse in bezug auf die sekundaeren Maxima und Minima relativ schlecht angenaehert wurden (vgl. "M 5.2.3. FOURIER - Analyse der Abflussregimes der repraesentativen Stationen");
- In den hoeheren Lagen des zentralen Teils des Untersuchungsgebietes bestehen die bereits an anderer Stelle erwaehnten Probleme bezueglich der Schaetzung des zeitlichen Auftretens des Maximums.

Es muss in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, dass in den randlichen Gebieten des Untersuchungsraumes - vor allem im Genferseegebiet - die Schaetzung der mittleren Regimekurve stationenmaessig schlecht abgestuetzt und dadurch entsprechend unsicher ist. Dieser Sachverhalt kommt in Figur 29 nicht zum Ausdruck, ebensowenig wie die Tatsache, dass die Trendflaechen keine Ruecksichten auf regionale Besonderheiten nehmen, wenn sie nicht durch repraesentative Stationen belegt sind.

Fuer die praktische Anwendung vermittelt die gleiche Figur Angaben zur Guete der geschaezten mittleren Regimekurve einer hypothetischen Station.

In einem naechsten Schritt werden nun die geschaezten mittleren Regimekurven den Regimes von kuerzeren Messreihen gegenuebergestellt, und zwar beispielhaft an zwei Stationen, welche fuer die Eichung des Modells zur Schaetzung der mittleren Regimekurven nicht verwendet wurden (Figur 30).

Die NOZON (Koordinaten: 529'740 / 168'670) gehoert gemaess der Tabelle im Anhang zu Teil II (benachbarte Koordinate im 10 km-Raster: 530/170) zum 'regime nivo-pluvial jurassien'. Im Kapitel 4 stellten wir zu diesem Typ u.a. fest: "Die Haeufigkeitsverteilung zeigt ..., dass der allgemeine Charakter des Abflusses mit einem Fruehjahresmaximum und einem Sommerminimum mit wenigen Ausnahmen auch im Einzeljahr verwirklicht ist." Die 8-jaehrige Messreihe der Nozon zeigt bereits in hohem Masse das langjaehrige Abflussverhalten. Es kann daher festgestellt werden, dass die geschaezte mittlere Regimekurve die tatsaechlich vorhandenen mittleren Abflussverhaeltnisse gut widerspiegelt.



Figur 30. Vergleich der geschaezten mittleren Regimekurve mit jener einer kuerzeren Messreihe:

———— : kuerzere Messreihe, Beobachtungsdauer sh. Kopfzeile;
 ----- : geschaezte mittlere Regimekurve.

Ein anderes Beispiel bildet die Gruene, welche dem 'regime pluvial superieur' angehört. Dieser Regimetyp ist durch einen krassen Unterschied zwischen dem Periodenmittel und den Einzeljahren gekennzeichnet. Entsprechend schlechter laesst sich hier die Schaetzung beurteilen, zumal das 5-jaehrige Mittel der

Gruene noch weit von der erforderlichen Mindestbeobachtungszeit von 15 Jahren entfernt ist.

Diese Art der Ueberpruefung unserer Schaetzung bestaetigt in jenen Faellen, in denen das Periodenmittel fuer das Einzeljahr noch aussagekraeftig ist, die Tauglichkeit des Verfahrens.

Aus den Vergleichen, wie sie in Figur 30 durchgefuehrt werden, koennen die vorhandenen kuerzeren Messreihen in bezug auf folgende Fragen besser beurteilt werden:

- Widerspiegeln die gemessenen, gemittelten Regimes der kuerzeren Messperiode bereits die 'wahren' mittleren Abflussverhaeltnisse ?
- Bei Regimetypen mit guter Repraesentativitaet der mittleren Regimekurve (vgl. Nozon): Wie sind die gemessene kuerzere Periode oder die Einzeljahre im Vergleich zu den mittleren Verhaeltnissen zu bewerten (ausgeglichen, feucht usf.) ?

M 5.4. IDENTIFIKATIONSANALYSE ZUR RAEUMLICHEN FESTLEGUNG DER REGIMETYPEN

Es bestehen grundsaeztlich zwei verschiedene Wege, um den Regimetyp an einer Stelle ohne Direktmessung zu bestimmen (vgl. Figur 31).

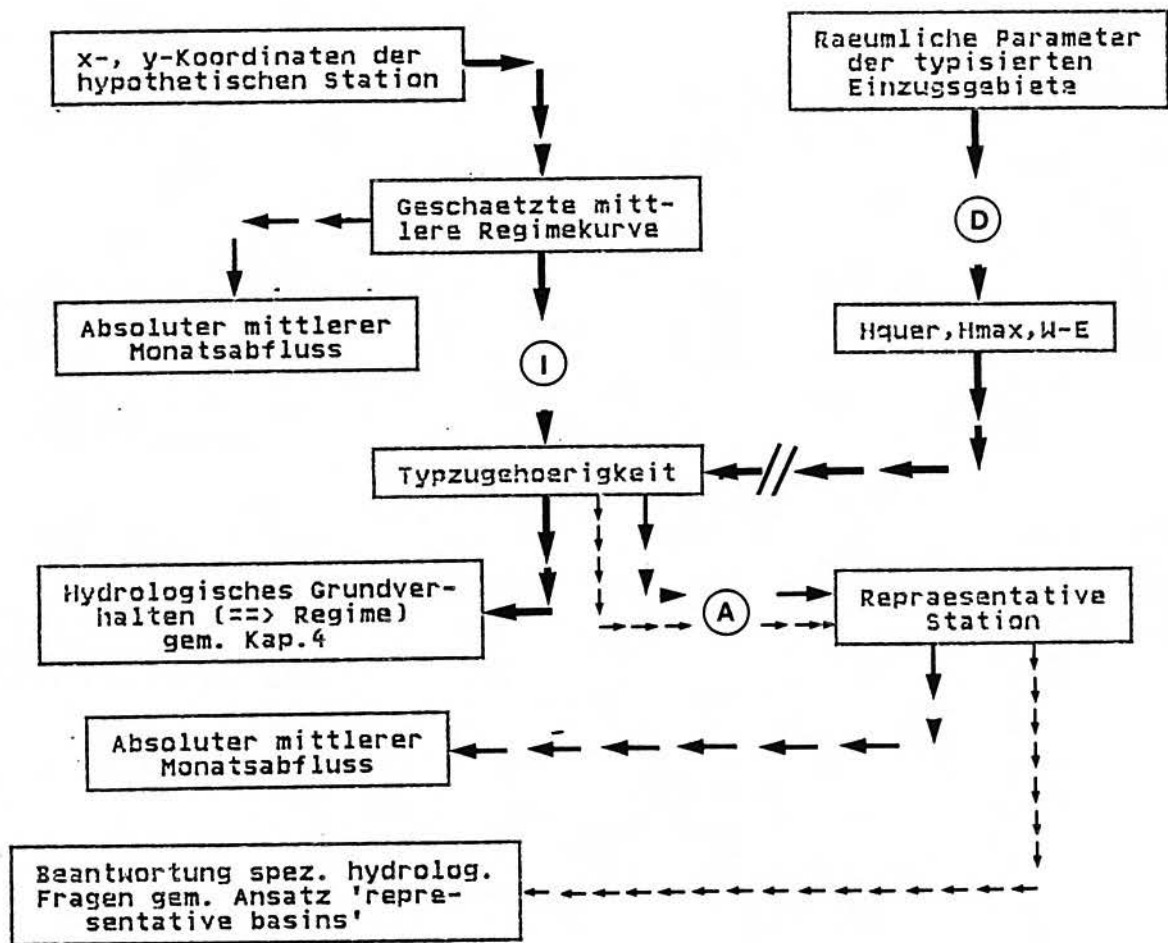
M 5.4.1. Ansatz ueber die Raumparameter

Im nordalpinen Raum (Einzugsgebiete > 1550 mueM) lassen sich die Regimetypen nach Vergletscherung und mittlerer Einzugsgebietshoehe raeumlich sehr gut festlegen (vgl. Teil I, Kap. A 5.). Es ist deshalb naheliegend, in diesem Untersuchungsgebiet als erstes den Weg ueber die Raumparameter zu waehlen. In einer Diskriminanzanalyse wurden folgende Parameter der typisierten repraesentativen Einzugsgebiete vorgegeben:

- mittlere Einzugsgebietshoehe (H_{quer}),
- maximale Einzugsgebietshoehe (H_{max}),
- Meereshoehe der Pegelstation (H_{min}),
- Hoehenquotient ($H_{\text{max}} / H_{\text{min}}$),
- Einzugsgebietsgroesse (F_n),
- West-Ost-Koordinate der Pegelstation (entspricht x-Koordinate im Nord-Sued orientierten, orthogonalen Koordinatennetz) (W-E)

Als entscheidende Parameter zur Diskriminierung der Typen wurden erkannt: H_{quer} , W-E, H_{max} . Die Einzugsgebietsgroesse spielt bei der Diskriminierung keine Rolle; dies zeigt, dass der Typisierung wirklich Einzugsgebiete zugrunde gelegt wurden, welche direkt miteinander vergleichbar sind. Mit den drei diskriminierenden Parameter lassen sich die Regimetypen allerdings nicht optimal trennen; die Zahl der Fehlzugeordnungen betraegt rund 20 %. Es bestaetigt sich erneut, dass die genaue raeumliche Verteilung der Regimetypen nicht mit einfachen Raumparameter erklart werden kann (vgl. Figur 24). Die Kausalbeziehungen Raum ---> Regime sind weit komplexer als im alpinen Raum und mit dem Niederschlag spielt auch ein raeumlich - zeitlich variates Element eine entscheidende, steuernde Rolle. Darin liegt letztlich die grosse Variabilitaet der pluvialen Regimes in den Einzeljahren begruendet.

Die relativ grosse Zahl der Fehlzugeordnungen veranlasste uns, den Ansatz ueber die Raumparameter nicht weiter zu verfolgen.



(D) Diskriminanzanalyse

(I) Identifikationsanalyse

(A) naturräumliche Analogieschlüsse

→ In der vorliegenden Arbeit untersuchte Beziehungen

→ Ausgewiesene Beziehungen nach JATON(1980)

→ In Folgearbeiten zu untersuchende Beziehungen

// nicht weiter verfolgter Weg (=> Fehlklassifikationen)

Figur 31. Ansatz zur räumlichen Festlegung der Typen; Bedeutung dieser Arbeit fuer die Praxis

M 5.4.2. Ansatz ueber die geschaetzte mittlere Regimekurve

Der zweite Weg zur Bestimmung des Regimetyps an Stellen ohne Direktmessung setzt bei den geschaetzten mittleren Regimekurven an. In Figur 31 sind die einzelnen Schritte dieses Ansatzes sowie deren Bedeutung fuer die Praxis skizziert. Auf den letzten Punkt werden wir in Kapitel 6 zu sprechen kommen.

Als erstes wurde bei den repraesentativen Stationen mit einer Diskriminanzanalyse untersucht, durch welche Monatskoeffizienten die Typen optimal diskriminiert werden (vgl. "M 3.2. Typisierung der Mittelwertskurve"). Mit den als entscheidend erkannten Monaten Februar, April, September, Dezember, Januar und November (in dieser Reihenfolge) lassen sich die mittleren Regimes der repraesentativen Stationen ohne Fehlzuordnung trennen.

Ueber eine Identifikationsanalyse mit den oben erwaehten Monaten als Parameter wurden die im 10-km - Raster geschaetzten mittleren Regimekurven dem wahrscheinlichsten Typ zugeordnet. Da die FOURIER - Approximation bezueglich des Auftretens des Maximums teilweise ungenau ist, wird dieses Vorgehen einem Zuordnungsverfahren vorgezogen, das allein auf der zeitlichen Lage des Maximums, des Minimums sowie auf der Variationsbreite beruht.

Im folgenden wurden die 10-km - Rasterpunkte des gleichen Typs zu Regionen zusammengefasst. In Figur 33 (in "ZUSAMMENFASSUNG") sind die Ergebnisse dieser raeumlichen, flaechendeckenden Umsetzung der Regimetypen dargestellt: Die Region der 'régime nival de transition' deckt sich zwischen dem Lac de la Gruyere und der Guerbe mit den tieferen Lagen der 'préalps romands' (insbesondere Klippen-Decke und Gurnigel-Flysch-Zone) und der Zone der subalpinen Molasse. Auch oestlich der Guerbe folgt die Grenze zu den 'régime nivo-pluvial préalpin' ungefaehr dem noerdlichen Rand der subalpinen Molasse. Dabei duerfte nicht die subalpine Molasse bzw. deren hydrogeologisches Verhalten fuer die Auspraegung dieses nivalen Uebergangsregimes verantwortlich sein, sondern die in diesem Bereich vorkommenden, grossen mittleren und maximalen Einzugsgebietshoeen (vgl. Hquer und Hmax als diskriminierende Raumparameter). Die hoechsten Erhebungen in diesen Einzugsgebieten liegen bei rund 2000 - 2300 mueM (Ausnahme: Saentis 2501 mueM).

Wenn wir oben von "Grenze" sprechen, so verstehen wir darunter einen kontinuierlichen Uebergangsbereich zwischen zwei Regimetypen.

Zwischen die 'régimes pluvials' und das 'régime nival de transition' schiebt sich die raeumlich enge Region des 'régime nivo-pluvial préalpin'. Die Grenze zwischen den nivo-pluvialen und den pluvialen Regimes ist hydrologisch insofern bedeutsam, als sich hier im Mittel das Abflussminimum vom Winter- auf das Sommerhalbjahr verschiebt. Die hoechsten Erhebungen dieser Region liegen mit 1200 - 1400 mueM (Napf 1408 mueM, Schnebelhorn 1293 mueM, Gaebris 1251 mueM) bedeutend tiefer als jene des 'régime nivo-pluvial préalpin'. Eine Ausnahme bilden die Gipfel im Bereich der Rochers de Naye mit ca. 2000 mueM.

Bei den Regimes, bei welchen das Abflussminimum im Mittel im Sommerhalbjahr auftritt (==> 'régime pluvial supérieur', 'régime pluvial inférieur', 'régime nivo-pluvial jurassien', 'régime pluvial jurassien'), ergibt sich im Bereich des Mittellandes sowohl eine Nord-Sued- als auch eine West-Ost-Differenzierung: Das westliche Mittelland hebt sich deutlich vom uebrigen Mittelland ab. Innerhalb des westlichen Mittellandes lassen sich das 'régime nivo-pluvial jurassien' und das 'régime pluvial jurassien' wiederum unterscheiden. Die meisten Fluesse des Typs 'régime nivo-pluvial jurassien' haben ihre Quellwurzeln im Jura. Fuer den Raum Genf ist die Schaetzung der mittleren Regimekurve infolge der randlichen Fehler bei der Trendflaechenberechnung relativ schlecht, so dass auch die Ergebnisse der Identifikationsanalyse entsprechend ausfielen. Aufgrund

räumlicher Analogieschlusses scheint uns aber die Zuordnung zum 'régime nivopluvial jurassien' am plausibelsten zu sein.

Die räumliche Differenzierung der beiden pluvialen Regimes des Mittellandes lässt sich - wie es die Namensgebung bereits erkennen lässt - erneut auf unterschiedliche mittlere und maximale Höhen zurückführen: So erreichen die höchsten Erhebungen der meisten Einzugsgebiete des Typs 'pluvial supérieur' noch knapp 1000 m üNN, während sie beim Typ 'pluvial inférieur' schon weit von dieser 1000 m Marke entfernt sind.

Im Jura konnten die mittleren Regimekurven mittels des Trendflächenansatzes nicht geschätzt werden. Zur räumlichen Festlegung der beiden jurassischen Regimetypen musste deshalb ein anderer Weg gewählt werden, bei dem auch die nicht repräsentativen Stationen miteinbezogen wurden (vgl. Figur 7). Trotz der nicht repräsentativen Messreihen gelingt die visuelle Identifikation des entscheidenden Typisierungsmerkmals - nämlich das frühere oder spätere Auftreten des Frühjahresmaximums - meist eindeutig, während die weiteren typspezifischen Kenngrößen der Regimekurve gemäß Kap. M 4 noch nicht bestimmbar sind.

M 6. BEDEUTUNG UND ANWENDUNG DIESER ARBEIT FUER DIE ABSCHAETZUNG DER ABFLUESSE AN STELLEN OHNE DIREKTMESSUNG

JATON beschaeftigte sich bereits 1980 mit der Frage der "Détermination des écoulements annuels et mensuels moyens d'un bassin versant": Fuer das zu beurteilende, mit hydrologischen Daten nicht belegte Einzugsgebiet sucht JATON ein gemessenes Einzugsgebiet ("bassin représentatif"), von welchem die monatlichen Abflusskoeffizienten uebernommen werden koennen. Die Wahl eines repraesentativen Einzugsgebietes erfolgt im wesentlichen aufgrund der mittleren Einzugsgebietshoehe und der Einzugsgebietsgroesse. Der mittlere Jahresabfluss des durch Direktmessungen nicht erfassten Einzugsgebietes wird aus einfachen linearen Beziehungen mit der mittleren Hoehe bzw. mit dem mittleren Jahresniederschlag abgeleitet. Mit diesem Wert schaezt dann JATON auf der Grundlage der uebertragenen Abflusskoeffizienten die absoluten mittleren Monatsabfluesse des hydrologisch unbekannten Einzugsgebietes.

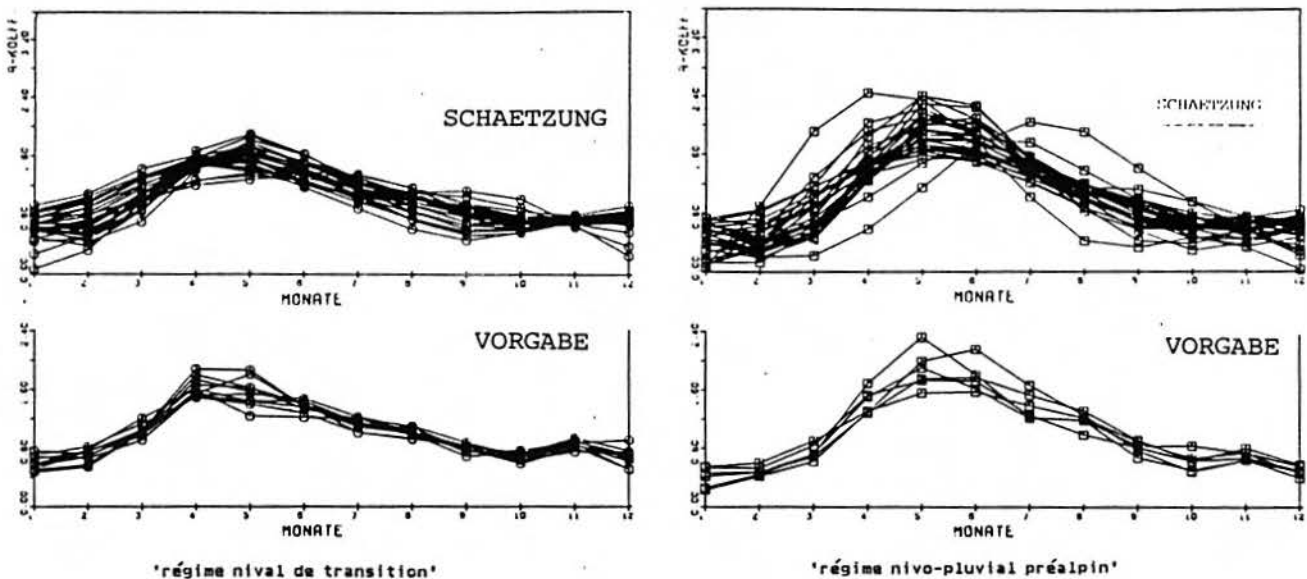
In der abschliessenden Bewertung meint JATON(1980:7): "L'efficacité de la méthode repose bien évidemment sur le choix du ou des bassins représentatifs. ."

Die vorliegende Untersuchung leistet in bezug auf die Problematik der "bassins représentatifs" einen wesentlichen Beitrag:

- Die ausgewiesenen repraesentativen Stationen unterliegen strengen Anforderungen bezueglich des Einzugsgebietes (autochthon) wie bezueglich der Messreihen (homogen, konsistent, erforderliche Messdauer).
- Die Frage der Wahl eines repraesentativen Einzugsgebietes fuer ein Einzugsgebiet ohne Direktmessung wurde von uns anders als bei JATON angegangen: Mit der datenorientierten Trendflaechen- und Identifikationsanalyse versuchten wir, das Problem der raeumlichen Analogieschluesse auf dieser Stufe zu umgehen, da wir feststellten, dass 'einfache' Kausalbeziehungen Raum ---> Regime nur tendenziell, aber nicht immer eindeutig bestehen.

Daraus ergeben sich nun - in Verbesserung und Erweiterung des JATON'schen Ansatzes - im Mittelland und in den Voralpen folgende Moeglichkeiten (vgl. Figur 31):

1. Ausgehend von den Koordinaten der Stelle ohne Direktmessung kann ueber die Tabelle im Anhang zum Teil II der an dieser Stelle **wahrscheinlichste Regimetyp** bestimmt werden; ebenso gelangt man zu einer **geschaetzten mittleren Regimekurve**.
2. Die Kenntnis des Regimetyps weist auf einige fuer diese hypothetische Station **repraesentative Einzugsgebiete** und auf das zu erwartende **hydrologische Grundverhalten** hin:
 - die Haeufigkeitsverteilung maximaler und minimaler Monatsabfluesse;
 - die Variabilitaet der Monatsabfluesse;
 - die maximalen, minimalen und mittleren jaehrlichen Schwankungen der Monatsabfluesse;
 - die Groessenordnung des zu erwartenden mittleren spezifischen Abflusses.
 - die Repraesentativitaet der mittleren Regimekurve fuer die Einzeljahre.
3. Zur Abschaetzung der Abflusskoeffizienten in Einzugsgebieten ohne Direktmessung stehen nun zwei Wege offen, die beide in Betracht zu ziehen sind:



Figur 32. Vergleich zwischen vorgegebenen und geschätzten Regimes: Verglichen werden die typspezifischen mittleren Regimekurven der entsprechenden repräsentativen Stationen mit den geschätzten mittleren Regimekurven des 10 km-Rasters, welche bei der Identifikationsanalyse als dem betreffenden Typ zugehörig identifiziert wurden.

a) Übernahme der Werte der geschätzten mittleren Regimekurve: Dieser Weg steht und fällt natürlich mit der Güte der geschätzten mittleren Regimekurve. Die Güte der mittleren Regimekurven lässt sich einerseits aus Figur 29 auf S. M-69 und andererseits im Vergleich zu den in Kapitel M 4 ausgewiesenen Regimekurven der repräsentativen Stationen erkennen. Die Bedeutung des zweiten Punktes möchten wir mit den Beispielen in Figur 32 hervorheben: Wie der visuelle Vergleich zwischen den gemessenen und den geschätzten Regimekurven zeigt, ist in einigen Fällen und dies insbesondere beim 'régime nival de transition' die Schätzung der mittleren Regimekurve schlecht. Hier wird der Anwender besser den folgenden, dem JATON'schen Ansatz angelehnten Weg wählen:

b) Übertragung der Abflusskoeffizienten einer repräsentativen Station: Dieser Schritt basiert nun erstmals auf räumlichen Analogieschlüssen. Im Gegensatz zum Ansatz von JATON stehen aber bei der Zuordnung repräsentative Station ---> hypothetische Station nur noch hydrologisch verwandte zur Auswahl; es handelt sich also um Stationen, welche die gleiche Typzugehörigkeit wie die hypothetische Station aufweisen. Dadurch wird der Fehler der Übertragung nicht-repräsentativer Werte bei der Wahl einer falschen Station minimiert. Die Wahl der repräsentativen Station wird im einfacheren Fall auf Nachbarschaftsbeziehungen beruhen. Aufwendiger, aber auch entsprechend genauer ist der Weg über echte naturräumliche Analogieschlüsse. Dieser Weg soll in späteren Arbeiten verfolgt werden (u.a. TROXLER 1985). Ein möglicher Ansatz ist in BAHRENBURG und GIESE(1975:155ff) beschrieben und eine Anwendung zeigt ASCHWANDEN(1982:64-75):

"Man kann sich aber die Korrelationsanalyse auch für eine räumliche Betrachtung nutzbar machen, indem man nicht Merkmale, sondern zwei Raumeinheiten miteinander korreliert. Der Korrelationskoeffizient ist dann ein Maß für die Stärke des Zusam-

menhalts resp. fuer die Aehnlichkeit der beiden Raumeinheiten unter Zugrundlegung einer Anzahl von Merkmalen."

4. Die Bestimmung der mittleren Abflusskoeffizienten fuer Einzugsgebiete ohne Direktmessung ist also im jetzigen Zeitpunkt loesbar. In einem naechsten Schritt gilt es, die absoluten mittleren Monatsabfluesse zu schaeetzen: Das Verfahren ueber den mittleren Jahresabfluss und ueber die uebertragenen oder auch geschaetzten mittleren Abflusskoeffizienten bildet einen gangbaren Weg. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird dieser Fragenkomplex nochmals aufgenommen: Durch eine groessere Anzahl von Stationen und durch den Einbau weiterer raeumlicher Parameter in das Modell zur Schaeetzung des mittleren Jahresabflusses soll versucht werden, diese Beziehungen zu erweitern und zu verbessern (ASCHWANDEN 1985).
5. Mit dem in Pkt. 3.b) skizzierten Weg, wie man ueber raeumliche Analogieschluesse zur optimalen repraesentativen Station gelangt, koennte die in der Frage "repraesentativ fuer was?" gipfelnde Problematik der 'representative basins' einer Loesung naehergebracht werden. Die Bedeutung von 'representative basins' fassen SPREAFICO und BIGLER(1980:4) naemlich wie folgt zusammen:

"Das Schwergewicht liegt bei der Beschaffung von Erkenntnissen ueber den Wasserhaushalt und deren Anwendung auf die Bestimmung von Wasserbilanzen von aehnlichen Einzugsgebieten."

Unsere repraesentativen Einzugsgebiete sind allerdings nur ausnahmsweise auch "representative basins" im Sinne internationaler Normen. Wir glauben aber, dass die meisten unserer repraesentativen Stationen durchaus geeignet sind, den Anspruechen repraesentativer Gebiete ('representative basins') zu genuegen, zumal ihre autochthonen Einzugsgebietsgroessen von 10 bis 500 km² (meist 10 bis 300 km²) eher den Anforderungen der Praxis entsprechen (vgl. "representative basin" Rietholz bach: 3.3 km²).

In verschiedenen Arbeiten wird auf den integralen hydrologischen Charakter der mittleren Regimekurve hingewiesen (vgl. ASCHWANDEN, LEIBUNDGUT und WEINGARTNER 1984). Wir sind deshalb zuversichtlich, dass es in diesem modifizierten Konzept der 'representative basins' moeglich sein wird, aussagekraeftige Uebertragungen hydrologischer Parameter auf Einzugsgebiete ohne Direktmessungen vorzunehmen. Diese Parameter koennen durchaus ueber den Mittelwasserbereich hinausgehen.

Auch hier wird es in Folgearbeiten darum gehen, die Zusammenhaenge zwischen der mittleren Regimekurve bzw. dem Regimetyp und den erwaehnten hydrologischen Parameter an konkreten Beispielen auszuweisen. Das Nationalfonds-Projekt 'Abschaetzung der Abfluesse an Stellen ohne Direktmessung', in dessen Rahmen auch die vorliegende Untersuchung durchgefuehrt wird, sollte im Hoch- und Niedrigwasserbereich ebenfalls entsprechende Grundlagen bereitstellen.

Spezialfall JURA: Die bisherigen Ausfuehrungen gelten weitgehend auch fuer den Jura. Da in diesem Teil des Untersuchungsgebietes keine geschaetzten mittleren Regimekurven zur Verfuegung stehen, treten an ihre Stelle Abflussdaten von kuerzeren und somit nicht repraesentativen Messreihen der zu beurteilenden Gewaesser. Dies bietet keine Schwierigkeiten, da im Jura praktisch eine Vollerhebung vorliegt. Die Zugehoerigkeit zu einem der beiden jurassischen Regimetypen kann allerdings aufgrund dieser Arbeit bestimmt werden (vgl. Figur 33 in der Zusammenfassung). Durch den Vergleich der gemessenen mit den typspezifischen Richtwerten (Tabelle 12) ist es moeglich, die kuerzere Messreihe einzuordnen resp. zu beurteilen. Dabei muessen die in diesem Zusammenhang angeschnittenen Fragen im Kapitel M 5.3.3. beantwortet werden. Deshalb draengt sich fuer die Abschaetzung der absoluten Monatsabfluesse an Stellen ohne Direktmessung eine Fallunterscheidung auf:

Bedeutung und Anwendung

1. Die kurze Messreihe zeigt eine gute Uebereinstimmung mit den typspezifischen Richtwerten des entsprechenden Regimetyps ('régime nivo-pluvial jurassien' oder 'régime pluvial jurassien'):

==> Uebernahme der gemessenen Abflusskoeffizienten und Extrapolation des gemessenen spezifischen Jahresabflusses auf das zu beurteilende Einzugsgebiet.

2. Die kurze Messreihe zeigt wenig Uebereinstimmung mit den typspezifischen Richtwerten:

==> Vorgehen nach Punkt 3.b dieses Kapitels: Suche und Uebertragung der Abflusskoeffizienten einer repraesentativen Station; Extrapolation des gemessenen spezifischen Jahresabflusses auf das zu beurteilende Einzugsgebiet.

Bemerkung: Obwohl die Untersuchungen im Detail noch nicht abgeschlossen sind, zeigt es sich, dass die mittleren Jahresabfluesse i. allg. kleine Variationskoeffizienten aufweisen: Nach unserer Ansicht ist deshalb auch eine kurze Messreihe aussagekraeftig.

3. Keine Messreihen vorhanden:

==> Aufgrund von Figur 33 (in der "ZUSAMMENFASSUNG") Bestimmung des Regimetyps; Suche nach einer repraesentativen Station und grobe Abschaetzung der Monatsabfluesse durch Uebertragung der typspezifischen Richtwerte fuer den spezifischen Jahresabfluss. Beziehungen zwischen Niederschlag, Einzugsgebietshoehe und Abfluss, wie sie JATON(1980) fuer das Mittelland und Voralpen ausweist, stehen im Moment fuer den Jura noch nicht zur Verfuegung, werden aber innerhalb dieses Nationalfonds-Projektes untersucht.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Abflussregimes mittellaendischer und jurassischer Einzugsgebiete weisen durchwegs einen mehrgipfligen Kurvenverlauf auf. Die Regimes der Einzeljahre unterscheiden sich i. allg. stark und zeigen daher eine grosse Abweichung vom langjaehrigen Mittel. Die im Vergleich zum Alpenraum grossere Variabilitaet der Steuerfaktoren ist der Hauptgrund fuer die schlechte zeitliche Repraesentativitaet der Mittelwerte. Wenn gleichwohl eine Typisierung aufgrund der Mittelwerte erfolgt, so deshalb, weil die Mittelwertskurve eine grosse raeumliche Repraesentativitaet besitzt: sie beschreibt das Verteilungsmuster von Einzugsgebieten mit gleichem Abflussverhalten im Einzeljahr.

Zur **Regimatypisierung** stehen rund 40 repraesentative Stationen zur Verfuegung, deren Datenreihen strengen Anforderungen (Konsistenz, Homogenitaet, empirisch festgelegte Mindestbeobachtungsdauer) genuegen und deren Einzugsgebiete autochthon sind und natuerliche Abflussverhaeltnisse aufweisen. Die hierarchische Anwendung von drei Typisierungskriterien:

1. Lage des Abflussminimums,
2. Lage des abflussreichsten Doppelmonats,
3. Differenz zwischen mittlerem maximalen und minimalen Abflusskoeffizienten

fuehrt zu folgenden **Regimetypen** bzw. Untertypen:

| | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 'régime nival de transition' | 'régime pluvial inférieur' |
| 'régime nivo-pluvial préalpin' | 'régime nivo-pluvial jurassien' |
| 'régime pluvial supérieur' | 'régime pluvial jurassien' |

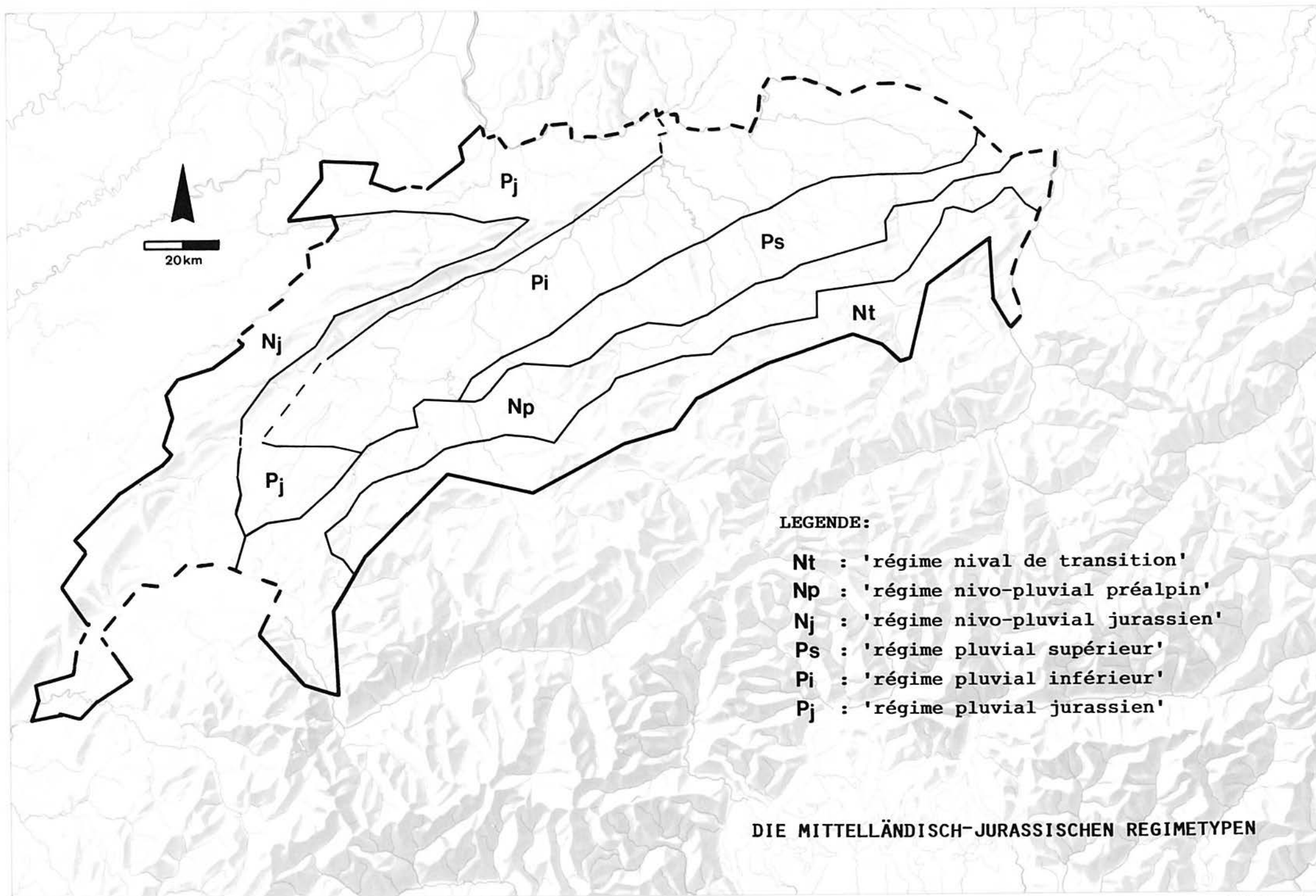
Mit den erwaehnten Typisierungskriterien wird das Wesentliche des langjaehrigen Abflussverhaltens erfasst. Die Ueberpruefung der Typisierung erfolgt mit einer Diskriminanzanalyse der Abflusskoeffizienten, die zeigt, dass die gefundenen Abflussregimetypen auf echten, nicht zufaelligen Unterschieden beruhen.

Die allgemeine raeumliche Festlegung der mittellaendisch-jurassischen Zone ist durch die mittlere Einzugsgebietshoehe < 1550 m gegeben. Die raeumliche Einordnung der Regimetypen erfolgt durch eine FOURIER-Analyse mit anschliessender Trendflaechen- und Identifikationsanalyse. Dieser aufwendige Weg ist notwendig, da es mit einfachen Raumparameter wie mittlere oder maximale Einzugsgebietshoehe nicht moeglich ist, die gefundenen Regimetypen raeumlich optimal zu trennen. Die Regionalisierung des Untersuchungsraumes aufgrund der Abflussregimes ist der Zusammenfassung beigefuegt.

Die Kenntnis des Regimetyps ist wichtiger Ausgangspunkt fuer eine erste **Abschaetzung des Abflussverhaltens an einer Stelle ohne Direktmessung**. Darauf aufbauend ergeben sich fuer die Praxis zwei moegliche Wege zur Abschaetzung des mittleren Abflussverhaltens:

- a) Erzeugung eines synthetischen Abflussregimes aufgrund von Trendflaechen;
- b) Suche eines repraesentativen Einzugsgebietes durch raeumliche Analogieschluesse und Uebertragung der Abflusskoeffizienten.

Die Umsetzung Regime (Koeffizienten) ---> Monatsabfluesse kann beispielsweise nach den Beziehungen von JATON(1980)¹ ueber den mittleren Jahresabfluss erfolgen.



DIE MITTELLÄNDISCH-JURASSISCHEN REGIMETYPEN

ANHANG A. GESCHAETZTE MITTLERE REGIMEKURVEN

| Koord. | JAN | FEB | MRZ | APR | MAI | JUN | JUL | AUG | SEP | OKT | NOV | DEZ | Typ |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 560 130 | 0.73 | 0.63 | 0.88 | 1.38 | 1.67 | 1.57 | 1.27 | 0.96 | 0.70 | 0.61 | 0.74 | 0.84 | I |
| 570 130 | 0.07 | 0.32 | 0.98 | 1.67 | 1.90 | 1.63 | 1.25 | 1.11 | 1.13 | 1.02 | 0.67 | 0.25 | II |
| 510 140 | 1.67 | 1.80 | 1.03 | 0.66 | 1.01 | 1.00 | 0.48 | 0.53 | 1.14 | 1.18 | 0.67 | 0.83 | IIIB |
| 560 140 | 0.61 | 0.70 | 1.10 | 1.53 | 1.63 | 1.42 | 1.15 | 0.93 | 0.77 | 0.71 | 0.74 | 0.71 | II |
| 570 140 | 0.27 | 0.51 | 1.07 | 1.60 | 1.74 | 1.50 | 1.22 | 1.10 | 1.05 | 0.90 | 0.64 | 0.38 | II |
| 520 150 | 1.51 | 1.50 | 1.42 | 1.49 | 1.21 | 0.52 | 0.25 | 0.68 | 0.99 | 0.74 | 0.61 | 1.07 | IIIA |
| 530 150 | 1.15 | 1.17 | 1.48 | 1.70 | 1.33 | 0.70 | 0.51 | 0.69 | 0.72 | 0.64 | 0.81 | 1.10 | IIIA |
| 540 150 | 0.96 | 1.06 | 1.43 | 1.65 | 1.41 | 0.99 | 0.78 | 0.69 | 0.57 | 0.60 | 0.85 | 1.00 | IVA |
| 550 150 | 0.83 | 0.96 | 1.33 | 1.59 | 1.50 | 1.23 | 0.98 | 0.75 | 0.58 | 0.60 | 0.78 | 0.87 | II |
| 560 150 | 0.69 | 0.83 | 1.20 | 1.55 | 1.61 | 1.41 | 1.13 | 0.85 | 0.66 | 0.63 | 0.71 | 0.73 | II |
| 570 150 | 0.48 | 0.63 | 1.08 | 1.55 | 1.71 | 1.54 | 1.24 | 0.98 | 0.81 | 0.73 | 0.68 | 0.57 | II |
| 520 160 | 1.49 | 1.57 | 1.62 | 1.64 | 1.20 | 0.42 | 0.13 | 0.53 | 0.87 | 0.74 | 0.70 | 1.10 | IIIA |
| 530 160 | 1.19 | 1.28 | 1.61 | 1.77 | 1.32 | 0.64 | 0.40 | 0.53 | 0.61 | 0.64 | 0.88 | 1.14 | IVA |
| 540 160 | 1.03 | 1.17 | 1.54 | 1.70 | 1.40 | 0.94 | 0.67 | 0.54 | 0.47 | 0.60 | 0.89 | 1.05 | IVA |
| 550 160 | 0.93 | 1.09 | 1.43 | 1.62 | 1.48 | 1.18 | 0.89 | 0.61 | 0.46 | 0.57 | 0.81 | 0.93 | II |
| 560 160 | 0.82 | 0.98 | 1.30 | 1.56 | 1.56 | 1.36 | 1.06 | 0.73 | 0.53 | 0.56 | 0.73 | 0.81 | II |
| 570 160 | 0.69 | 0.82 | 1.16 | 1.51 | 1.64 | 1.51 | 1.21 | 0.87 | 0.62 | 0.58 | 0.67 | 0.71 | I |
| 580 160 | 0.53 | 0.62 | 1.01 | 1.49 | 1.72 | 1.62 | 1.33 | 1.00 | 0.75 | 0.65 | 0.66 | 0.62 | I |
| 530 170 | 1.24 | 1.34 | 1.65 | 1.73 | 1.22 | 0.55 | 0.32 | 0.46 | 0.58 | 0.70 | 0.99 | 1.22 | IVA |
| 540 170 | 1.11 | 1.27 | 1.60 | 1.67 | 1.28 | 0.81 | 0.56 | 0.45 | 0.45 | 0.66 | 0.99 | 1.14 | IVA |
| 550 170 | 1.03 | 1.22 | 1.52 | 1.60 | 1.37 | 1.04 | 0.75 | 0.50 | 0.43 | 0.62 | 0.90 | 1.02 | IVB |
| 560 170 | 0.95 | 1.13 | 1.41 | 1.55 | 1.46 | 1.22 | 0.92 | 0.61 | 0.46 | 0.58 | 0.80 | 0.90 | IVB |
| 570 170 | 0.84 | 1.01 | 1.30 | 1.52 | 1.53 | 1.37 | 1.08 | 0.74 | 0.52 | 0.56 | 0.72 | 0.81 | II |
| 580 170 | 0.73 | 0.85 | 1.17 | 1.48 | 1.59 | 1.49 | 1.23 | 0.88 | 0.60 | 0.56 | 0.68 | 0.74 | I |
| 590 170 | 0.62 | 0.66 | 1.01 | 1.44 | 1.66 | 1.60 | 1.37 | 1.02 | 0.70 | 0.58 | 0.66 | 0.69 | I |
| 610 170 | 0.38 | 0.27 | 0.62 | 1.39 | 1.93 | 1.86 | 1.48 | 1.19 | 0.97 | 0.75 | 0.62 | 0.55 | I |
| 620 170 | 0.13 | 0.13 | 0.57 | 1.47 | 2.15 | 2.01 | 1.44 | 1.15 | 1.12 | 0.95 | 0.58 | 0.29 | I |
| 540 180 | 1.19 | 1.37 | 1.64 | 1.54 | 1.05 | 0.61 | 0.49 | 0.50 | 0.56 | 0.78 | 1.08 | 1.19 | IVA |
| 550 180 | 1.12 | 1.34 | 1.58 | 1.50 | 1.15 | 0.82 | 0.62 | 0.50 | 0.52 | 0.76 | 1.01 | 1.08 | IVB |
| 560 180 | 1.05 | 1.28 | 1.51 | 1.49 | 1.26 | 0.99 | 0.74 | 0.54 | 0.52 | 0.71 | 0.91 | 0.98 | IVB |
| 570 180 | 0.96 | 1.18 | 1.43 | 1.50 | 1.37 | 1.14 | 0.88 | 0.62 | 0.54 | 0.66 | 0.83 | 0.89 | IVB |
| 580 180 | 0.86 | 1.05 | 1.34 | 1.49 | 1.45 | 1.28 | 1.02 | 0.73 | 0.57 | 0.63 | 0.77 | 0.81 | II |
| 590 180 | 0.75 | 0.90 | 1.22 | 1.47 | 1.52 | 1.41 | 1.17 | 0.85 | 0.61 | 0.61 | 0.73 | 0.76 | II |
| 600 180 | 0.66 | 0.72 | 1.06 | 1.44 | 1.59 | 1.52 | 1.31 | 0.99 | 0.68 | 0.59 | 0.70 | 0.74 | I |
| 610 180 | 0.62 | 0.54 | 0.86 | 1.38 | 1.68 | 1.63 | 1.42 | 1.13 | 0.78 | 0.58 | 0.65 | 0.74 | I |
| 620 180 | 0.59 | 0.40 | 0.64 | 1.31 | 1.81 | 1.79 | 1.50 | 1.21 | 0.89 | 0.60 | 0.58 | 0.69 | I |
| 630 180 | 0.51 | 0.29 | 0.47 | 1.26 | 2.00 | 2.01 | 1.55 | 1.18 | 0.94 | 0.67 | 0.52 | 0.57 | I |
| 640 180 | 0.30 | 0.19 | 0.47 | 1.41 | 2.29 | 2.24 | 1.54 | 1.05 | 0.93 | 0.75 | 0.47 | 0.36 | I |
| 550 190 | 1.23 | 1.44 | 1.53 | 1.26 | 0.84 | 0.65 | 0.64 | 0.63 | 0.67 | 0.87 | 1.09 | 1.16 | IIIB |
| 560 190 | 1.18 | 1.41 | 1.50 | 1.29 | 0.97 | 0.79 | 0.69 | 0.61 | 0.65 | 0.84 | 1.01 | 1.06 | IIIB |
| 570 190 | 1.11 | 1.35 | 1.48 | 1.34 | 1.10 | 0.91 | 0.76 | 0.63 | 0.64 | 0.79 | 0.92 | 0.97 | IIIB |
| 580 190 | 1.01 | 1.26 | 1.44 | 1.40 | 1.22 | 1.03 | 0.84 | 0.68 | 0.64 | 0.75 | 0.84 | 0.88 | IIIB |
| 590 190 | 0.88 | 1.13 | 1.39 | 1.45 | 1.33 | 1.15 | 0.94 | 0.74 | 0.66 | 0.72 | 0.80 | 0.81 | IIIB |
| 600 190 | 0.76 | 0.97 | 1.30 | 1.48 | 1.42 | 1.27 | 1.06 | 0.83 | 0.67 | 0.70 | 0.78 | 0.76 | II |
| 610 190 | 0.67 | 0.78 | 1.16 | 1.48 | 1.52 | 1.38 | 1.19 | 0.94 | 0.70 | 0.67 | 0.77 | 0.76 | II |
| 620 190 | 0.64 | 0.60 | 0.95 | 1.43 | 1.62 | 1.50 | 1.31 | 1.06 | 0.76 | 0.63 | 0.72 | 0.78 | II |
| 630 190 | 0.65 | 0.47 | 0.73 | 1.34 | 1.73 | 1.65 | 1.40 | 1.16 | 0.85 | 0.60 | 0.64 | 0.77 | I |
| 640 190 | 0.66 | 0.41 | 0.54 | 1.24 | 1.86 | 1.85 | 1.50 | 1.20 | 0.91 | 0.60 | 0.54 | 0.70 | I |
| 650 190 | 0.60 | 0.35 | 0.44 | 1.24 | 2.05 | 2.09 | 1.58 | 1.16 | 0.88 | 0.57 | 0.44 | 0.59 | I |
| 660 190 | 0.46 | 0.25 | 0.52 | 1.53 | 2.40 | 2.27 | 1.53 | 1.00 | 0.75 | 0.48 | 0.35 | 0.47 | I |

I 'régime nival de transition'
 II 'régime nivo-pluvial préalpin'
 IIIA 'régime pluvial supérieur'
 IIIB 'régime pluvial inférieur'
 IVA 'régime nivo-pluvial jurassien'
 IVB 'régime pluvial jurassien'

| Koord. | JAN | FEB | MRZ | APR | MAI | JUN | JUL | AUG | SEP | OKT | NOV | DEZ | Typ |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|
| 560 200 | 1.26 | 1.37 | 1.31 | 1.01 | 0.77 | 0.76 | 0.78 | 0.71 | 0.73 | 0.95 | 1.15 | 1.20 | IIIB |
| 570 200 | 1.24 | 1.38 | 1.32 | 1.07 | 0.88 | 0.83 | 0.78 | 0.69 | 0.72 | 0.90 | 1.05 | 1.12 | IIIB |
| 580 200 | 1.19 | 1.36 | 1.35 | 1.16 | 0.98 | 0.90 | 0.81 | 0.71 | 0.71 | 0.84 | 0.96 | 1.04 | IIIB |
| 590 200 | 1.10 | 1.32 | 1.39 | 1.25 | 1.07 | 0.96 | 0.86 | 0.75 | 0.71 | 0.79 | 0.87 | 0.93 | IIIB |
| 600 200 | 0.97 | 1.24 | 1.41 | 1.34 | 1.16 | 1.03 | 0.92 | 0.80 | 0.73 | 0.77 | 0.80 | 0.83 | IIIB |
| 610 200 | 0.82 | 1.09 | 1.38 | 1.43 | 1.27 | 1.11 | 0.99 | 0.85 | 0.75 | 0.76 | 0.78 | 0.75 | IIIA |
| 620 200 | 0.68 | 0.90 | 1.29 | 1.49 | 1.39 | 1.21 | 1.07 | 0.92 | 0.78 | 0.76 | 0.79 | 0.73 | II |
| 630 200 | 0.61 | 0.68 | 1.11 | 1.51 | 1.53 | 1.33 | 1.15 | 0.99 | 0.80 | 0.73 | 0.79 | 0.76 | II |
| 640 200 | 0.63 | 0.53 | 0.88 | 1.45 | 1.67 | 1.48 | 1.24 | 1.07 | 0.85 | 0.69 | 0.74 | 0.79 | II |
| 650 200 | 0.67 | 0.44 | 0.67 | 1.34 | 1.79 | 1.67 | 1.34 | 1.12 | 0.89 | 0.65 | 0.65 | 0.78 | I |
| 660 200 | 0.67 | 0.40 | 0.54 | 1.28 | 1.91 | 1.86 | 1.46 | 1.15 | 0.88 | 0.59 | 0.54 | 0.72 | I |
| 670 200 | 0.61 | 0.32 | 0.52 | 1.40 | 2.11 | 2.03 | 1.53 | 1.12 | 0.79 | 0.47 | 0.44 | 0.65 | I |
| 680 200 | 0.42 | 0.22 | 0.77 | 1.84 | 2.40 | 2.08 | 1.46 | 0.98 | 0.56 | 0.29 | 0.40 | 0.59 | I |
| 570 210 | 1.16 | 1.24 | 1.16 | 0.93 | 0.80 | 0.83 | 0.82 | 0.76 | 0.85 | 1.09 | 1.21 | 1.15 | IIIB |
| 580 210 | 1.18 | 1.26 | 1.18 | 0.99 | 0.88 | 0.87 | 0.81 | 0.73 | 0.82 | 1.02 | 1.13 | 1.13 | IIIB |
| 590 210 | 1.19 | 1.28 | 1.22 | 1.05 | 0.94 | 0.91 | 0.83 | 0.74 | 0.77 | 0.93 | 1.04 | 1.09 | IIIB |
| 600 210 | 1.16 | 1.30 | 1.28 | 1.12 | 1.00 | 0.96 | 0.89 | 0.77 | 0.74 | 0.84 | 0.94 | 1.02 | IIIB |
| 610 210 | 1.08 | 1.29 | 1.34 | 1.20 | 1.05 | 1.00 | 0.95 | 0.83 | 0.75 | 0.77 | 0.84 | 0.91 | IIIB |
| 620 210 | 0.95 | 1.22 | 1.39 | 1.30 | 1.12 | 1.03 | 1.00 | 0.90 | 0.79 | 0.76 | 0.77 | 0.80 | IIIB |
| 630 210 | 0.78 | 1.07 | 1.39 | 1.42 | 1.22 | 1.06 | 1.02 | 0.96 | 0.84 | 0.77 | 0.75 | 0.71 | IIIA |
| 640 210 | 0.65 | 0.86 | 1.29 | 1.52 | 1.37 | 1.13 | 1.04 | 1.00 | 0.88 | 0.79 | 0.77 | 0.70 | IIIA |
| 650 210 | 0.59 | 0.65 | 1.10 | 1.54 | 1.55 | 1.26 | 1.08 | 1.02 | 0.90 | 0.79 | 0.78 | 0.74 | II |
| 660 210 | 0.61 | 0.51 | 0.88 | 1.48 | 1.70 | 1.44 | 1.15 | 1.04 | 0.91 | 0.76 | 0.75 | 0.77 | II |
| 670 210 | 0.63 | 0.43 | 0.71 | 1.41 | 1.82 | 1.62 | 1.26 | 1.07 | 0.90 | 0.70 | 0.68 | 0.77 | II |
| 680 210 | 0.60 | 0.36 | 0.65 | 1.43 | 1.94 | 1.78 | 1.37 | 1.09 | 0.84 | 0.60 | 0.60 | 0.74 | I |
| 690 210 | 0.46 | 0.28 | 0.75 | 1.64 | 2.09 | 1.87 | 1.44 | 1.08 | 0.69 | 0.45 | 0.56 | 0.68 | I |
| 700 210 | 0.17 | 0.32 | 1.18 | 2.03 | 2.23 | 1.91 | 1.42 | 0.87 | 0.42 | 0.38 | 0.58 | 0.49 | I |
| 710 210 | 0.07 | 0.90 | 1.91 | 2.44 | 2.35 | 1.79 | 1.02 | 0.42 | 0.33 | 0.47 | 0.33-0.03 | | I |
| 590 220 | 1.12 | 1.21 | 1.14 | 0.94 | 0.85 | 0.87 | 0.85 | 0.82 | 0.93 | 1.09 | 1.12 | 1.07 | IIIB |
| 600 220 | 1.15 | 1.22 | 1.16 | 1.00 | 0.92 | 0.90 | 0.84 | 0.78 | 0.85 | 1.01 | 1.08 | 1.08 | IIIB |
| 610 220 | 1.16 | 1.24 | 1.19 | 1.05 | 0.97 | 0.95 | 0.88 | 0.78 | 0.78 | 0.91 | 1.01 | 1.07 | IIIB |
| 620 220 | 1.15 | 1.27 | 1.25 | 1.10 | 1.00 | 1.00 | 0.95 | 0.82 | 0.74 | 0.80 | 0.91 | 1.01 | IIIB |
| 630 220 | 1.07 | 1.27 | 1.32 | 1.18 | 1.03 | 1.01 | 1.01 | 0.90 | 0.76 | 0.74 | 0.80 | 0.90 | IIIB |
| 640 220 | 0.93 | 1.21 | 1.39 | 1.29 | 1.08 | 1.01 | 1.04 | 0.98 | 0.82 | 0.73 | 0.73 | 0.78 | IIIA |
| 650 220 | 0.78 | 1.06 | 1.39 | 1.43 | 1.19 | 1.01 | 1.03 | 1.03 | 0.90 | 0.76 | 0.72 | 0.70 | IIIA |
| 660 220 | 0.66 | 0.86 | 1.29 | 1.53 | 1.36 | 1.07 | 1.01 | 1.04 | 0.95 | 0.80 | 0.74 | 0.69 | IIIA |
| 670 220 | 0.61 | 0.68 | 1.13 | 1.56 | 1.54 | 1.20 | 1.01 | 1.02 | 0.96 | 0.81 | 0.75 | 0.71 | IIIA |
| 680 220 | 0.60 | 0.56 | 0.96 | 1.54 | 1.68 | 1.36 | 1.07 | 1.02 | 0.94 | 0.79 | 0.74 | 0.74 | II |
| 690 220 | 0.58 | 0.47 | 0.85 | 1.52 | 1.79 | 1.51 | 1.17 | 1.04 | 0.90 | 0.73 | 0.71 | 0.74 | II |
| 700 220 | 0.49 | 0.38 | 0.86 | 1.58 | 1.87 | 1.62 | 1.30 | 1.07 | 0.81 | 0.63 | 0.68 | 0.71 | II |
| 710 220 | 0.28 | 0.35 | 1.02 | 1.72 | 1.94 | 1.75 | 1.43 | 1.03 | 0.66 | 0.57 | 0.68 | 0.58 | I |
| 720 220 | 0.08 | 0.51 | 1.29 | 1.91 | 2.11 | 1.91 | 1.39 | 0.82 | 0.57 | 0.63 | 0.56 | 0.22 | I |
| 610 230 | 1.11 | 1.19 | 1.13 | 0.97 | 0.89 | 0.91 | 0.88 | 0.83 | 0.90 | 1.05 | 1.09 | 1.06 | IIIB |
| 620 230 | 1.14 | 1.21 | 1.15 | 1.02 | 0.95 | 0.95 | 0.89 | 0.79 | 0.82 | 0.96 | 1.06 | 1.08 | IIIB |
| 630 230 | 1.16 | 1.24 | 1.19 | 1.05 | 0.98 | 0.99 | 0.94 | 0.81 | 0.75 | 0.85 | 0.97 | 1.06 | IIIB |
| 640 230 | 1.14 | 1.27 | 1.26 | 1.10 | 0.99 | 1.01 | 1.00 | 0.87 | 0.74 | 0.76 | 0.87 | 0.99 | IIIB |
| 650 230 | 1.05 | 1.27 | 1.34 | 1.19 | 1.01 | 1.00 | 1.04 | 0.95 | 0.78 | 0.71 | 0.77 | 0.88 | IIIB |
| 660 230 | 0.93 | 1.19 | 1.39 | 1.31 | 1.07 | 0.97 | 1.04 | 1.02 | 0.85 | 0.72 | 0.72 | 0.78 | IIIA |
| 670 230 | 0.80 | 1.06 | 1.38 | 1.44 | 1.18 | 0.97 | 1.00 | 1.05 | 0.92 | 0.75 | 0.71 | 0.73 | IIIA |
| 680 230 | 0.71 | 0.91 | 1.30 | 1.53 | 1.33 | 1.03 | 0.97 | 1.04 | 0.96 | 0.79 | 0.72 | 0.71 | IIIA |
| 690 230 | 0.67 | 0.77 | 1.19 | 1.56 | 1.48 | 1.13 | 0.97 | 1.02 | 0.96 | 0.80 | 0.73 | 0.73 | IIIA |

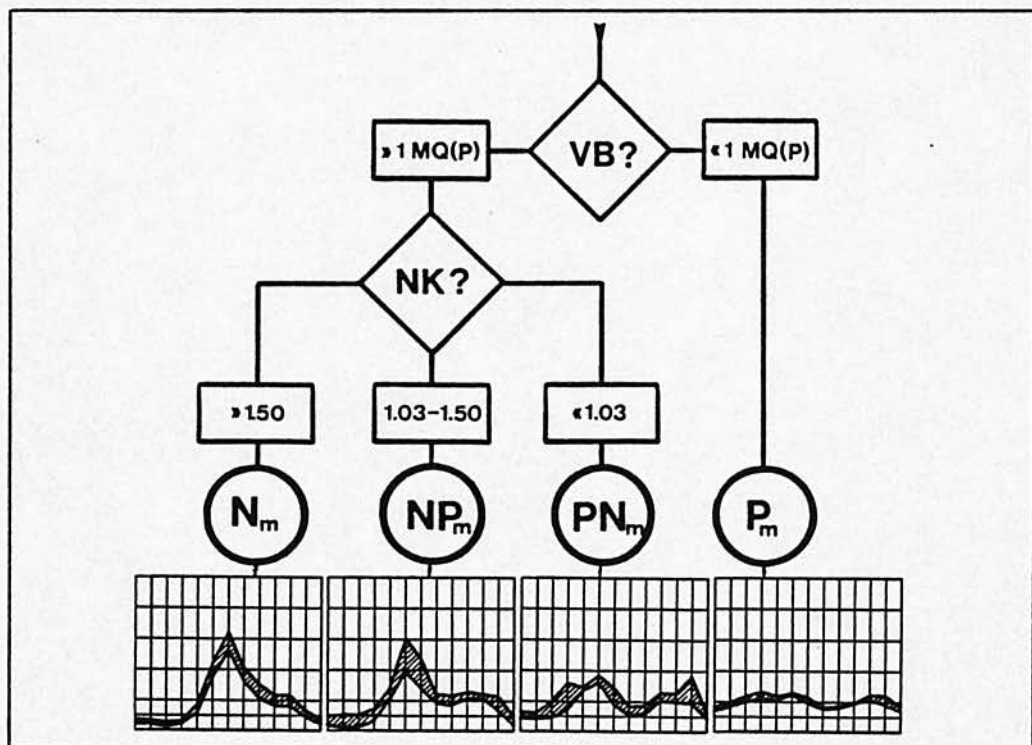
I 'régime nival de transition'
 II 'régime nivo-pluvial préalpin'
 IIIA 'régime pluvial supérieur'
 IIIB 'régime pluvial inférieur'
 IVA 'régime nivo-pluvial jurassien'
 IVB 'régime pluvial jurassien'

| Koord. | JAN | FEB | MRZ | APR | MAI | JUN | JUL | AUG | SEP | OKT | NOV | DEZ | Typ |
|---------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 700 230 | 0.63 | 0.66 | 1.08 | 1.56 | 1.60 | 1.26 | 1.03 | 1.01 | 0.93 | 0.77 | 0.74 | 0.74 | II |
| 710 230 | 0.57 | 0.56 | 1.01 | 1.56 | 1.67 | 1.38 | 1.15 | 1.04 | 0.87 | 0.72 | 0.73 | 0.73 | II |
| 720 230 | 0.44 | 0.48 | 1.01 | 1.56 | 1.71 | 1.54 | 1.32 | 1.07 | 0.79 | 0.67 | 0.74 | 0.67 | II |
| 730 230 | 0.26 | 0.44 | 1.00 | 1.53 | 1.79 | 1.78 | 1.50 | 1.06 | 0.74 | 0.71 | 0.71 | 0.49 | I |
| 740 230 | 0.11 | 0.31 | 0.88 | 1.57 | 2.02 | 2.00 | 1.58 | 1.11 | 0.85 | 0.74 | 0.56 | 0.27 | I |
| 640 240 | 1.15 | 1.24 | 1.19 | 1.03 | 0.95 | 0.97 | 0.94 | 0.81 | 0.76 | 0.87 | 1.00 | 1.07 | IIIB |
| 650 240 | 1.15 | 1.27 | 1.25 | 1.08 | 0.96 | 0.98 | 0.98 | 0.85 | 0.74 | 0.78 | 0.91 | 1.03 | IIIB |
| 660 240 | 1.11 | 1.29 | 1.32 | 1.14 | 0.97 | 0.97 | 1.02 | 0.91 | 0.75 | 0.73 | 0.83 | 0.95 | IIIB |
| 670 240 | 1.03 | 1.26 | 1.38 | 1.23 | 1.00 | 0.95 | 1.02 | 0.97 | 0.80 | 0.71 | 0.77 | 0.88 | IIIB |
| 680 240 | 0.94 | 1.19 | 1.40 | 1.33 | 1.06 | 0.93 | 1.01 | 1.01 | 0.84 | 0.72 | 0.74 | 0.82 | IIIA |
| 690 240 | 0.86 | 1.08 | 1.38 | 1.43 | 1.16 | 0.94 | 0.97 | 1.02 | 0.89 | 0.74 | 0.74 | 0.79 | IIIA |
| 700 240 | 0.80 | 0.98 | 1.33 | 1.49 | 1.27 | 0.98 | 0.95 | 1.02 | 0.91 | 0.75 | 0.74 | 0.78 | IIIA |
| 710 240 | 0.76 | 0.87 | 1.25 | 1.53 | 1.38 | 1.06 | 0.97 | 1.01 | 0.90 | 0.75 | 0.75 | 0.79 | IIIA |
| 720 240 | 0.70 | 0.76 | 1.16 | 1.53 | 1.47 | 1.18 | 1.04 | 1.01 | 0.87 | 0.73 | 0.75 | 0.79 | IIIA |
| 730 240 | 0.61 | 0.65 | 1.07 | 1.48 | 1.53 | 1.35 | 1.21 | 1.06 | 0.82 | 0.70 | 0.76 | 0.76 | II |
| 740 240 | 0.50 | 0.55 | 0.92 | 1.33 | 1.53 | 1.57 | 1.47 | 1.16 | 0.82 | 0.71 | 0.76 | 0.69 | I |
| 750 240 | 0.43 | 0.42 | 0.63 | 1.02 | 1.48 | 1.80 | 1.76 | 1.38 | 0.99 | 0.80 | 0.71 | 0.58 | I |
| 760 240 | 0.42 | 0.20 | 0.22 | 0.58 | 1.15 | 1.73 | 2.04 | 1.90 | 1.41 | 0.96 | 0.75 | 0.64 | I |
| 650 250 | 1.12 | 1.24 | 1.25 | 1.07 | 0.92 | 0.95 | 0.96 | 0.84 | 0.75 | 0.85 | 0.99 | 1.05 | IIIB |
| 660 250 | 1.13 | 1.28 | 1.29 | 1.10 | 0.94 | 0.95 | 0.98 | 0.86 | 0.74 | 0.79 | 0.92 | 1.01 | IIIB |
| 670 250 | 1.12 | 1.29 | 1.33 | 1.14 | 0.95 | 0.95 | 0.99 | 0.88 | 0.74 | 0.75 | 0.87 | 0.98 | IIIB |
| 680 250 | 1.09 | 1.29 | 1.36 | 1.19 | 0.97 | 0.94 | 1.00 | 0.91 | 0.75 | 0.73 | 0.83 | 0.95 | IIIB |
| 690 250 | 1.05 | 1.26 | 1.38 | 1.24 | 0.99 | 0.93 | 1.00 | 0.94 | 0.77 | 0.71 | 0.81 | 0.92 | IIIB |
| 700 250 | 1.00 | 1.21 | 1.39 | 1.30 | 1.03 | 0.91 | 0.99 | 0.97 | 0.79 | 0.71 | 0.80 | 0.91 | IIIA |
| 710 250 | 0.96 | 1.14 | 1.38 | 1.36 | 1.08 | 0.91 | 0.97 | 0.98 | 0.82 | 0.71 | 0.80 | 0.89 | IIIA |
| 720 250 | 0.90 | 1.05 | 1.34 | 1.41 | 1.17 | 0.95 | 0.97 | 0.98 | 0.83 | 0.72 | 0.79 | 0.88 | IIIA |
| 730 250 | 0.84 | 0.95 | 1.27 | 1.45 | 1.27 | 1.03 | 0.99 | 0.99 | 0.83 | 0.72 | 0.79 | 0.87 | IIIA |
| 740 250 | 0.76 | 0.82 | 1.16 | 1.43 | 1.37 | 1.19 | 1.11 | 1.02 | 0.81 | 0.70 | 0.79 | 0.84 | IIIA |
| 750 250 | 0.68 | 0.69 | 0.96 | 1.27 | 1.38 | 1.39 | 1.36 | 1.17 | 0.85 | 0.68 | 0.76 | 0.80 | II |
| 760 250 | 0.61 | 0.61 | 0.74 | 0.91 | 1.13 | 1.43 | 1.65 | 1.54 | 1.16 | 0.83 | 0.72 | 0.67 | IIIA |
| 670 260 | 1.04 | 1.24 | 1.35 | 1.20 | 0.99 | 0.97 | 1.01 | 0.88 | 0.72 | 0.75 | 0.89 | 0.96 | IIIB |
| 680 260 | 1.08 | 1.28 | 1.36 | 1.19 | 0.99 | 0.98 | 1.01 | 0.87 | 0.70 | 0.72 | 0.86 | 0.96 | IIIB |
| 690 260 | 1.12 | 1.30 | 1.35 | 1.17 | 0.99 | 0.98 | 1.00 | 0.85 | 0.68 | 0.71 | 0.86 | 0.98 | IIIB |
| 700 260 | 1.13 | 1.29 | 1.34 | 1.16 | 0.99 | 0.98 | 0.99 | 0.84 | 0.68 | 0.71 | 0.88 | 1.01 | IIIB |
| 710 260 | 1.12 | 1.28 | 1.33 | 1.17 | 0.98 | 0.97 | 0.99 | 0.85 | 0.68 | 0.72 | 0.89 | 1.02 | IIIB |
| 720 260 | 1.10 | 1.25 | 1.33 | 1.19 | 0.99 | 0.95 | 0.99 | 0.87 | 0.70 | 0.72 | 0.90 | 1.02 | IIIB |
| 730 260 | 1.05 | 1.20 | 1.34 | 1.24 | 1.02 | 0.95 | 0.98 | 0.89 | 0.72 | 0.72 | 0.88 | 0.99 | IIIB |
| 740 260 | 0.97 | 1.13 | 1.33 | 1.31 | 1.10 | 0.97 | 0.99 | 0.92 | 0.76 | 0.72 | 0.85 | 0.94 | IIIA |
| 750 260 | 0.86 | 0.99 | 1.26 | 1.38 | 1.23 | 1.08 | 1.04 | 0.96 | 0.78 | 0.72 | 0.82 | 0.88 | IIIA |
| 760 260 | 0.78 | 0.80 | 1.03 | 1.28 | 1.34 | 1.29 | 1.25 | 1.10 | 0.84 | 0.70 | 0.77 | 0.84 | II |
| 690 270 | 0.97 | 1.16 | 1.31 | 1.25 | 1.14 | 1.16 | 1.14 | 0.91 | 0.65 | 0.64 | 0.78 | 0.88 | IIIB |
| 700 270 | 1.06 | 1.22 | 1.30 | 1.24 | 1.16 | 1.14 | 1.04 | 0.78 | 0.60 | 0.67 | 0.84 | 0.95 | IIIB |
| 710 270 | 1.12 | 1.25 | 1.30 | 1.23 | 1.15 | 1.08 | 0.92 | 0.69 | 0.60 | 0.73 | 0.91 | 1.02 | IIIB |
| 720 270 | 1.16 | 1.26 | 1.29 | 1.21 | 1.11 | 1.01 | 0.85 | 0.67 | 0.64 | 0.79 | 0.96 | 1.06 | IIIB |
| 730 270 | 1.18 | 1.27 | 1.27 | 1.18 | 1.07 | 0.97 | 0.82 | 0.68 | 0.67 | 0.82 | 0.98 | 1.09 | IIIB |
| 740 270 | 1.18 | 1.26 | 1.26 | 1.17 | 1.07 | 0.97 | 0.84 | 0.71 | 0.69 | 0.81 | 0.97 | 1.08 | IIIB |
| 690 280 | 0.69 | 0.60 | 0.79 | 1.03 | 1.12 | 1.21 | 1.38 | 1.37 | 1.12 | 0.91 | 0.91 | 0.88 | IIIA |
| 700 280 | Schätzung der Koeffizienten unzuverlässig | | | | | | | | | | | | IIIB |
| 710 280 | Schätzung der Koeffizienten unzuverlässig | | | | | | | | | | | | IIIB |
| 720 280 | Schätzung der Koeffizienten unzuverlässig | | | | | | | | | | | | IIIB |
| 730 280 | Schätzung der Koeffizienten unzuverlässig | | | | | | | | | | | | IIIB |

I 'regime nival de transition'
 II 'regime nivo-pluvial prealpin'
 IIIA 'regime pluvial superieur'
 IIIB 'regime pluvial inferieur'
 IVA 'regime nivo-pluvial jurassien'
 IVB 'regime pluvial jurassien'

Teil III

SÜDALPINE ABFLUSSREGIMES



INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|------|
| S 1. BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN ZU DEN SUEDALPINEN REGIMES | S-1 |
| S 2. DATENLAGE | S-5 |
| S 2.1. Auswahlkriterien fuer repraesentative Stationen | S-5 |
| S 2.1.1. Konsistenz und Homogenitaet | S-5 |
| S 2.1.2. Notwendige Beobachtungszeit | S-5 |
| S 2.2. Repraesentative Stationen | S-8 |
| S 2.3. Datenstruktur | S-8 |
| S 2.3.1. Median und Mittelwert | S-10 |
| S 2.3.2. Die Variationen der Monatskoeffizienten | S-11 |
| S 2.3.3. Jaehrliche Fluktuationen | S-13 |
| S 3. TYPISIERUNG | S-15 |
| S 3.1. Ausgangslage | S-15 |
| S 3.2. Typisierung der suedalpinen Regimes | S-22 |
| S 4. DIE SUEDALPINEN REGIMETYPEN | S-33 |
| S 4.1. Das 'régime nival méridional' | S-33 |
| S 4.2. Der Uebergangsbereich zwischen nivalen und pluvialen Regimes | S-39 |
| S 4.2.1. Das 'régime nivo-pluvial méridional' | S-39 |
| S 4.2.2. Das 'régime pluvio-nival méridional' | S-42 |
| S 4.3. Das 'régime pluvial méridional' | S-44 |
| S 5. RAEUMLICHE UEBERTRAGUNG | S-49 |
| S 5.1. Ausgangslage | S-49 |
| S 5.2. Die raeumliche Einordnung der suedalpinen Regimetypen | S-49 |
| ZUSAMMENFASSUNG | S-55 |

VERZEICHNIS DER FIGUREN

| | | |
|-----------|--|------|
| Figur 1. | Beeinflussung der natuerlichen Abfluesse | S-6 |
| Figur 2. | Raeumliche Verteilung der repraesentativen Stationen | S-9 |
| Figur 3. | Vergleich Mittelwertskurve - Mediankurve | S-10 |
| Figur 4. | Abflussregimes und Variationskoeffizienten bei staerker vergletscherten Einzugsgebieten | S-11 |
| Figur 5. | Abflussregimes und Variationskoeffizienten bei suedalpinen Einzugsgebieten | S-12 |
| Figur 6. | Darstellung der Fluktuationskoeffizienten nach KARDOS(1975) | S-13 |
| Figur 7. | Das mittlere Regime der Albigna-Alpe Albigna | S-16 |
| Figur 8. | Vergleich der Einzeljahre nord- und suedalpiner glazialer Regimes | S-17 |
| Figur 9. | Die Temperatur als Hauptsteuerfaktor der glazialen Regimes . | S-18 |
| Figur 10. | Das mittlere Regime der Maira-Vicosoprano | S-19 |
| Figur 11. | Vergleich der einzeljaehrlichen Regimes der Maira-Vicosoprano | S-20 |
| Figur 12. | Vergleich der einzeljaehrlichen Regimes des Zwischenbergenbach-Im Faeh | S-21 |
| Figur 13. | Vergleich der mittleren Regimes und der Haeufigkeitsverteilungen maximaler und minimaler Monatsabfluesse von nord- und suedalpinen Einzugsgebieten | S-23 |
| Figur 14. | Vergleich der Einzeljahre nord- und suedalpiner Einzugsgebiete mit 1-6 % Vergletscherung | S-24 |
| Figur 15. | Sekundaeres Abflussmaximum bei ausgewaehlten Einzugsgebieten | S-28 |
| Figur 16. | Entscheidungsbaum fuer die Typisierung des mittleren Abflussverhaltens | S-29 |
| Figur 17. | Bedeutung der FOURIER-Analyse fuer die Grundtypisierung von Abflussregimes | S-30 |
| Figur 18. | Abflussregime des Ticino-Piotta | S-33 |
| Figur 19. | Mittlere Regimekurven, Kurven der Variationskoeffizienten und Haeufigkeitsverteilungen maximaler und minimaler Monatsabfluesse | S-35 |
| Figur 20. | Mittlere Regimekurven, Kurven der Variationskoeffizienten und Haeufigkeitsverteilungen maximaler und minimaler Monatsabfluesse | S-38 |
| Figur 21. | Mittlere Regimekurven, Kurve der Variationskoeffizienten und Haeufigkeitsverteilungen maximaler und minimaler Monatsabfluesse | S-41 |
| Figur 22. | Mittlere Regimekurve, Kurve der Variationskoeffizienten und Haeufigkeitsverteilungen maximaler und minimaler Monatsabfluesse | S-43 |
| Figur 23. | Starkregenverteilung in der Schweiz nach ZELLER(1974:21) | S-45 |
| Figur 24. | Mittlere Regimekurve, Kurve der Variationskoeffizienten und Haeufigkeitsverteilungen maximaler und minimaler Monatsabfluesse | S-46 |
| Figur 25. | Suedalpine nivale Abflussregimes | S-51 |
| Figur 26. | Vergleich von ausgewaehlten Einzeljahren | S-52 |

VERZEICHNIS DER TABELLEN

| | | |
|-------------|--|------|
| Tabelle 1. | Suedalpine Regimetypen nach GRIMM(1968,1) | S-2 |
| Tabelle 2. | Ausgewählte hydrologische Untersuchungen in Kt. Tessin | S-3 |
| Tabelle 3. | Notwendige Beobachtungsdauer bei den suedalpinen repräsentativen Stationen | S-7 |
| Tabelle 4. | Repräsentative Stationen | S-9 |
| Tabelle 5. | Vergleich nord- und suedalpiner glazialer Regimes | S-16 |
| Tabelle 6. | Vergleich wichtiger Parameter des Zwischenbergenbach-Im Faeh | S-22 |
| Tabelle 7. | Variationen (%) der herbstlichen Monatsabflüsse | S-23 |
| Tabelle 8. | Nivalitätskoeffizienten von Einzugsgebieten verschiedener Höhenlage | S-27 |
| Tabelle 9. | Flächenanteil (%) der Gebiete > 2400 m in den Einzugsgebieten der a-nivalen Gruppe | S-34 |
| Tabelle 10. | Statistische Kennwerte der a-nivalen Gruppe des 'régime nival méridional' | S-34 |
| Tabelle 11. | Statistische Kennwerte der b-nivalen Gruppe des 'régime nival méridional' | S-37 |
| Tabelle 12. | Statistische Kennwerte des 'régime nivo-pluvial méridional' | S-40 |
| Tabelle 13. | Statistische Kennwerte des 'régime pluvio-nival méridional' | S-42 |
| Tabelle 14. | Statistische Kennwerte der Faloppia-Chiasso und des Laveggio-Mendrisio | S-46 |
| Tabelle 15. | Vergleich von Abflussfrachten der Herbstmonate | S-50 |

S 1. BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN ZU DEN SUEDALPINEN REGIMES

Im Teil I wurde ein allgemeiner Ueberblick ueber abgeschlossene Arbeiten zu schweizerischen Abflussregimes gegeben und dabei besonders auf die Aspekte des Alpenraumes eingetreten. Im folgenden stehen die besonderen Abflussverhaeltnisse der Alpensuedseite und ihre Typisierung im Vordergrund. Von den erwaehten Arbeiten liegen dazu nur gerade von PARDE(1920), KELLER(1968) und GRIMM(1968,1) Resultate vor.

Obwohl PARDE(1920) nur sehr wenig Abflussdaten zur Verfuegung standen, hat er die Sonderstellung der suedalpinen Regimes innerhalb der Abflussregimes der Schweiz erkannt und richtig gedeutet. Fuer die besonderen Abflussverhaeltnisse fuehrt er folgende Gruende an:

- Die Alpensuedseite unterliegt klimatisch sowohl kontinentalen als auch mediterranen Einfluessen.
- Durch die Suedexposition wird der Ablauf von Schmelzprozessen entscheidend beeinflusst.
- Die hohe Reliefenergie bewirkt ein schnelles Abfliessen des Wassers bei Niederschlaegen.

Aus diesen Gruenden weist er fuer das Untersuchungsgebiet zwei Regimetypen aus, die als Modifikationen von andern Regimetypen verstanden werden koennen:

1. Modifikation des 'régime type de montagnes méditerranéennes'
2. Modifikation des 'régime type alpin de haute montagne'

Worin diese Modifikationen im Detail bestehen, bleibt offen. In seinem Standardwerk "Fleuves et Rivières" geht PARDE(1933) nicht mehr naeher auf die suedalpinen Abflussverhaeltnisse ein.

Ebenfalls mit zwei Regimetypen kommt KELLER(1968) aus. Sein 'Nivales Regime des Berglandes' im Bereich der Suedalpen und sein 'Nivopluviales Regime' suedlich des Monte Ceneri beschreiben die Abflussverhaeltnisse der Alpensuedseite nur unvollstaendig.

Die detaillierteste Betrachtung verdanken wir wiederum GRIMM(1968,1). Obwohl im Massstab 1 : 8 Mio. gehalten, weist seine Karte der europaeischen Abflussregimes fuer die Suedschweiz vier Regimetypen aus:

- a) AARE-Regime in den hoeher gelegenen Einzugsgebieten im Bereich der Alpen
- b) SERIO-Regime vorwiegend im Maggia- und Verzascatal
- c) NITRA-Regime im Malcantone
- d) SAVA-Regime im Gebiet zwischen Lago Maggiore und Luganersee

Die wichtigsten Kenngroessen dieser Regimetypen sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Es faellt auf, dass GRIMM - wie auch die andern Autoren - fuer die hoeher gelegenen Einzugsgebiete einen Regimetyp (AARE-Regime) vorschlaegt, der vorwiegend auf der Alpennordseite realisiert ist. Es scheint, dass sich vergletscherte und hoch gelegene Einzugsgebiete trotz besonderer klimatischer Verhaeltnisse nicht anders verhalten als nordalpine Gebiete.

Tabelle 1. Suedalpine Regimetypen nach GRIMM(1968,1)

| | | |
|---|--|--|
| H-pluviale Abflußregimes (II-Gruppe) | | Sava-Regime |
| Erscheinung: | Maximum von mäßiger Intensität im Herbst: Okt. + Nov. oder Nov. + Dez., ganzjährig hohe Abflüsse, niemals 3 Monate unter 2 l/sec km ² . | $HI > FC/s$; Mq 30—80 l/sec km ² ; SKmax ca. 1,5; SK Jahr 2,2—2,8; Verbreitung: Südnorwegen, südl. Ostalpen |
| Ursachen: | Regenspeisung, insbesondere Herbstregen, sommerlich hohe Verdunstung, bei einigen Typen zusätzlich Schneeschmelzhochwasser im Frühjahr. | |
| FH-nivopluviale Abflußregimes (III-Gruppe) | | Nitra-Regime |
| Erscheinung: | Maximum von mäßiger Intensität im Frühjahr: März + April, April + Mai oder Mai + Juni, sekundäres Maximum im Herbst, Niedrigwasser im Winter oder Sommer, ganzjährig abflußreich, niemals 3 Monate unter 2 l/sec km ² . | $F1 > HB/s$, $F1 > HC/s$; Mq 3,0—17 l/sec km ² ; SKmax 1,5—2,3; SK Jahr 3—17; Verbreitung: Mittel- und Südeuropa, westl. Nordeuropa, westl. Osteuropa |
| Ursachen: | Hauptmaximum vorwiegend durch Schneeschmelze bedingt, oft in Kombination mit Regenfällen, Nebenmaximum durch Regenfälle verursacht. Minima durch hohe Verdunstung im Sommer und durch winterliche Retention. | |
| | | Serio-Regime |
| | | $F3 > HC/w$, $F3 > HB/w$; Mq 8,0—100 l/sec km ² ; SKmax 1,5—2,5; SK Jahr 2,0—10; Verbreitung: westl. Nordeuropa, Alpen, südeurop. Gebirge |
| S-nivale Abflußregimes (S-Gruppe) | | Aare-Regime |
| Erscheinung: | Ausgeprägtes Abflußmaximum im Sommer: Juni + Juli oder Juli + Aug., hohe Abflüsse im Sommerhalbjahr, winterliches Niedrigwasser mit unterschiedlicher Intensität. | SIC/w , SIB/w ; Mq bis über 60 l/sec km ² ; SKmax 1,5—2,5; SK Jahr 3,0—15; Verbreitung: Alpen, Kaukasus |
| Ursachen: | Sommermaximum als Folge der Schnee- und Gletscherschmelze, im Winter retentionsbedingtes Niedrigwasser. | |

S1 Maximum Juni+Juli
 F1 Maximum März+April
 F sek. Maximum Frühjahr
 B Mq(Jahr) 2-20 l/sek*km²
 w Minimum Winter
 f geringe Austrocknung während Abflussminimum

F2 Maximum April+Mai
 H sek. Maximum Herbst
 C Mq(Jahr) > 20 l/sek*km²
 s Minimum Sommer

Das SERIO-Regime ist mit seinem Frühjahresmaximum, seinem Winterminimum und dem sekundären Abflussmaximum im Herbst das typische Abflussregime der Alpensuedseite.

Versucht man, die repräsentativen Stationen gemäß den Typisierungskriterien von GRIMM diesen Regimetypen zuzuordnen, so wird man feststellen, dass von 22 Einzugsgebieten nur gerade 9 alle notwendigen Kriterien erfüllen, und dass sich für das SAVA- und das NITRA-Regime keine Vertreter finden lassen. Trotzdem liefert die Arbeit von GRIMM einen wertvollen Überblick, da in den meisten Fällen die Haupttypisierungskriterien (Lage des Abflussmaximums und -minimums, sowie Lage des sekundären Maximums) erfüllt sind, und nur die zusätzlichen Kriterien wie mittlere Jahresabflussspende oder Variationsbreite der Abflusskoeffizienten den Abflussdaten der repräsentativen Stationen nicht gerecht werden.

Neben diesen Arbeiten, die sich mit der Typisierung der Abflussregimes im europäischen Rahmen befassen, entstanden zwischen 1950 und 1975 einige Untersuchungen, die sich speziell mit den hydrologischen Verhältnissen der verschiedenen Tessinertaler auseinandersetzen. Auch wenn dabei nicht mehr eine Abflussregimetypisierung im Vordergrund steht, so vermitteln diese Wasserhaushaltsuntersuchungen ein detailliertes Bild des Abflussgeschehens der Alpen-

suedseite. Der Vollstaendigkeit halber sind diese Arbeiten in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2. Ausgewaehlte hydrologische Untersuchungen in Kt. Tessin

| Autor(Jahr) | Untersuchungsgebiet | M-Periode |
|--------------------|---------------------------|-----------|
| BINGGELI (1975) | Wasserhaushalt Kt. Tessin | --- |
| BINGGELI (1961) | Valle di Lucomagno | 1954-58 |
| GAEUMANN (1974) | Isonetal | 1961-72 |
| GRUETTER (1967) | Val Verzasca | 1930-66 |
| GYGAX (1948) | Magliasina | 1939-44 |
| HIRSBRUNNER (1960) | Rovanataeler | 1949-57 |
| JAGGI (1970) | Uebersicht vers. Taeler | --- |
| KISTLER (1954) | Valle Onsernone | 1950-53 |
| MUELLER (1972) | Maggiatal | --- |
| REIST (1960) | Bavonatal | 1954-56 |
| WITSCHI (1957) | Obere Bleniotaeler | 1947-55 |

Insgesamt vermitteln die Arbeit von GRIMM(1968,1) und die verschiedenen Wasserhaushaltsuntersuchungen einen guten, wenn auch etwas bruchstueckhaften Ueberblick ueber die Abflussverhaeltnisse der Alpensuedseite. Es ist das Ziel der vorliegenden Untersuchung, diese Bruchstuecke zu einem Ganzen zu fuegen und fuer die praktische Anwendung bei der Abschaetzung der Abfluesse an Stellen ohne Direktmessung nutzbar zu machen.

S 2. DATENLAGE

S 2.1. AUSWAHLKRITERIEN FUER REPRESENTATIVE STATIONEN

Fuer eine Abflussregimetypisierung eignen sich nur Abflussmessstationen, die gewisse Anforderungen bezueglich Messreihen und Einzugsgebiet erfuellen. Gemass Teil I (Kap. A 3.1.) wird eine Abflussstation dann als repraesentativ bezeichnet, falls die dazugehoerende Messreihe und das entsprechende Flussgebiet folgende Voraussetzungen erfuellen:

1. Abflussmessreihe konsistent und homogen;
2. Abfluss anthropogen unbeeinflusst;
3. eine empirisch festgelegte notwendige Beobachtungszeit wird erreicht oder ueberschritten;
4. Flussgebiet autochthon.

Stationen und ihre Messreihen, die diese Anforderungen erfuellen, koennen zur Typisierung von Abflussregimes verwendet werden. Die obgenannten Kriterien wurden im Teil I ausfuehrlich behandelt. Im folgenden soll nur noch soweit darauf eingegangen werden, wie es die Besonderheit des suedalpinen Untersuchungsgebietes erfordert.

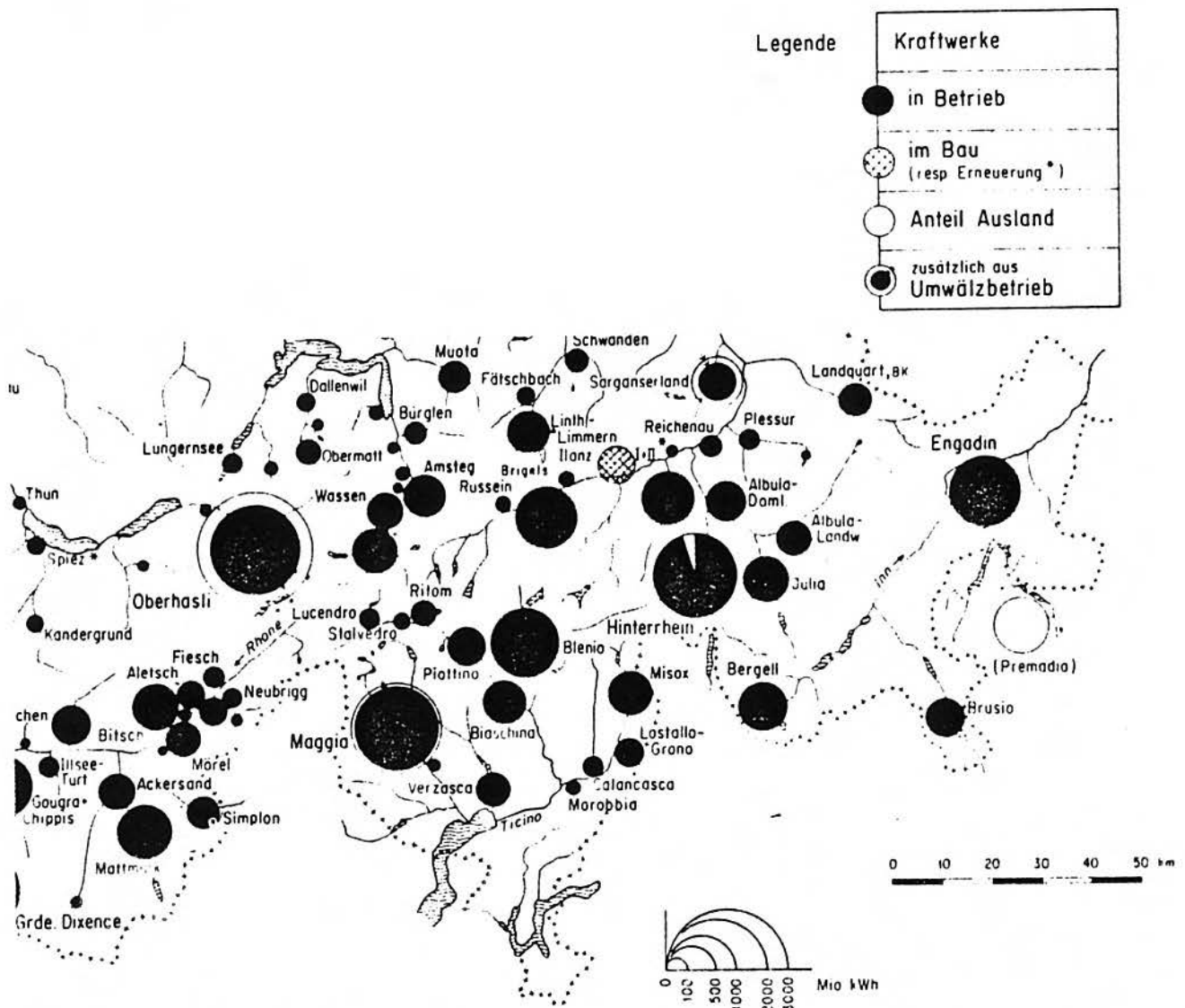
S 2.1.1. Konsistenz und Homogenitaet

Die verwendeten Daten stammen fast ausschliesslich aus dem Messnetz der Landeshydrologie. Nach EMMENEGGER und SPREAFICO(1979:215) ist die Konsistenz der in den Hydrologischen Jahrbuechern veroeffentlichten Daten gesichert.

Inhomogenitaeten in den Messreihen sind, sofern sie nicht durch ploetzliche Naturereignisse oder Klimaveraenderungen hervorgerufen werden, anthropogen bedingt. Figur 1 zeigt, dass im Einzugsgebiet des Ticino einige Anlagen zur Nutzung der Wasserkraft in Betrieb stehen. Die Inhomogenitaeten, die durch solche grosse Eingriffe entstehen, werden in den "Hydrologischen Jahrbuechern" publiziert. Man eliminiert sie, indem die Messreihe in Teilreihen zerlegt wird. Fuer eine weitere Bearbeitung wird nur noch die Teilreihe vor dem jeweiligen Eingriff betrachtet. Kleinere Inhomogenitaeten, die durch Trinkwasserentnahmen, Zuleitung von Abwasserreinigungsanlagen etc. entstehen, werden in den Jahrbuechern der Landeshydrologie - zumindest soweit sie die Testgebiete betreffen - mitberuecksichtigt (SCHAEDLER 1984). Weit schwieriger nachzuweisen sind die allmaehlichen Aenderungen der Wasserhaushaltskomponenten: wo genuegend lange Abflussreihen zur Verfuegung stehen, wurde eine Homogenitaetspruefung durchgefuehrt. Die verwendeten Tests sind im Teil I (Kap. A 3.1.1.) zusammengestellt.

S 2.1.2. Notwendige Beobachtungszeit

Fuer die Abflussregimetypisierung muessen gewisse Genauigkeitsanforderungen der Daten erfuellt sein. Die Berechnung der dazu notwendigen Beobachtungszeit er-



Figur 1. Beeinflussung der natuerlichen Abfluesse durch Wasserkraftwerke (EIDG. AMT FUER WASSERWIRTSCHAFT 1973). Die Jahreserzeugung (Mio kWh) ist ein Indikator fuer den Grad der Beeinflussung.

folgt nach der Formel von ROSENBERG(1979:21). Diese Formel entspricht der Schaetzung des Stichprobenumfangs normalverteilter Zufallsvariablen (vgl. 2.1):

$$(2.1) \quad N = \frac{Cv^2}{I^2} \cdot z_{1-a}^2$$

wobei: N Beobachtungsdauer
 Cv Variationskoeffizient
 I prozentuale Abweichung vom Mittelwert
 a Sicherheitsmass
 z_{1-a} Quantil der Standardnormalverteilung

Die Ueberpruefung der Normalverteilung (KOLMOGOROV-SMIRNOV-Test) als Voraussetzung zum Berechnen der notwendigen Beobachtungsdauer ergibt folgendes Bild:

- Die Monatskoeffizienten sind zu rund 78 % normalverteilt; der Rest weist eine leicht positive Schiefe auf (PEARSON-Verteilung) (vgl. dazu "S 2.3.1. Median und Mittelwert");
- 78 % der PEARSON-verteilten Monatskoeffizienten koennen nach ROSENBERG (1979:21) mit kleinem Fehler durch die Normalverteilung approximiert werden, da sie die Bedingung erfuehlen:

$$n > 50 \times cv^2 \quad \text{wobei} \quad cv \text{ Variationskoeffizient} \\ n \text{ Anzahl Beobachtungsjahre}$$

- Insgesamt erfuehlen nur 5 % der Monatskoeffizienten die Voraussetzung der Normalverteilung nicht. Die staerksten Abweichungen von der Normalverteilung ergeben sich in den Monaten Juli bis November (65 % normalverteilt).
- Den groessten Anteil normalverteilter Koeffizienten verzeichnen die Monate April bis Juni (rund 92 %). Dies entspricht den Monaten, in denen meistens das Hauptmaximum auftritt. Die Erfahrung bei der Typisierung des Alpenraumes und des Mittellandes zeigt, dass auch bei komplexen Regimes die Lage und das Ausmass des Hauptmaximums den Differenzierungsbereich bilden, den es bei einer Typisierung zu beruecksichtigen gilt. Dass gerade in diesem Bereich die Voraussetzung der Normalverteilung der Abflusskoeffizienten meistens erfuehlt ist, schafft die wichtige Grundlage zur Berechnung der notwendigen Beobachtungszeit nach Formel (2.1).

Die Frage nach der Genauigkeit, die erfuehlt sein soll, muss sich im Normalfall am gewaehlten Typisierungsansatz orientieren. So erforderte beispielsweise die Typisierung der alpinen Fliessgewaesser eine hohe Genauigkeit, da die Regimetypen auf der Rangfolge der abflussreichsten Monate beruhen. In Anbetracht des kleinen Stichprobenumfangs und der zu erwartenden, hohen Variationskoeffizienten in den tiefer gelegenen Einzugsgebieten soll hier aehnlich wie bei der Typisierung der mittellaendischen Regimes (vgl. Teil II, Kap. M 2.1.2.) ein empirischer Weg gewaehlt werden.

Tabelle 3. Notwendige Beobachtungsdauer bei den suedalpinen repraesentativen Stationen fuer verschiedene Genauigkeiten (10-25 %) in Abhaengigkeit des Zeitpunktes des Abflussmaximums.

| A-MAX | CV | VAR-CV | N | I10 | I15 | I20 | I25 |
|---------|------|-----------|----|-----|-----|-----|-----|
| JUL/AUG | 15.8 | 15.2-16.4 | 1 | 10 | 4 | 2 | 2 |
| JUN/JUL | 20.1 | 11.7-29.2 | 8 | 16 | 7 | 4 | 2 |
| MAI/JUN | 30.8 | 21.0-41.8 | 10 | 36 | 16 | 9 | 6 |
| APR/MAI | 49.4 | 41.9-54.9 | 2 | 94 | 42 | 23 | 15 |
| FEB/MRZ | 39.3 | 32.9-45.6 | 1 | 59 | 26 | 15 | 9 |

A-MAX Zeitpunkt des Abflussmaximums (Doppelmonat)
 CV mittlerer Variationskoeffizient bei A-MAX
 VAR-CV Variationsbreite der Variationskoeffizienten
 N Anzahl Einzugsgebiete
 I10-I25 Notwendige Beobachtungsdauer fuer eine gewuenschte Genauigkeit von 10-25% (in Jahren)

Tabelle 3 beinhaltet die mittleren Variationskoeffizienten der Einzugsgebiete des Untersuchungsraumes in Abhaengigkeit des Zeitpunktes des Abflussmaximums. Die starke Zunahme der Variationen mit dem fruheren Eintreten des Abflussmaximums ist offensichtlich. Der Vergleich mit den Variationskoeffizienten der alpinen und der mittellaendischen Regimetypen zeigt eine vergleichbare Groessenordnung. Die notwendige Beobachtungsdauer fuer verschiedene Genauigkeiten macht deutlich, dass die Forderung nach moeglichst hoher Genauigkeit nicht erfuellbar ist: fuer eine Genauigkeit von 10 % waehrend den beiden abflussreichsten Monaten muessten beispielsweise in den tieferen Lagen Beobachtungs-

zeiten von ueber 35 Jahren in Kauf genommen werden. Da solche Abflussmessreihen im Untersuchungsgebiet nur sehr begrenzt zur Verfuegung stehen, waere eine Typisierung zum vornherein in Frage gestellt. Selbst bei einer Genauigkeit von 15 % (Mindestbeobachtungsdauer 16 Jahre) stehen nur 13 Einzugsgebiete zur Typisierung zur Verfuegung.

Die bisherigen Arbeiten und besonders die Detailuntersuchungen in den einzelnen Taelern belegen, dass sich im suedalpinen Bereich auf kleinem Raum ein sehr differenziertes Bild der Abflussverhaeltnisse ergibt. Dieses Bild kann nur dann eingefangen werden, wenn die Genauigkeitsansprueche zurueckgestellt werden und einem moeglichst grossen Stichprobenumfang bei vertretbarer Genauigkeit der Vorrang gegeben wird. Bei einer Mindestbeobachtungsdauer von 10 Jahren stehen 22 Einzugsgebiete zur Typisierung zur Verfuegung. Damit werden in vergletscherten und hoch gelegenen Einzugsgebieten im Bereich des Abflussmaximums Genauigkeiten zwischen 10-15 %, in den tiefer gelegenen Gebieten zwischen 20-30 % erzielt. Dies scheint vertretbar, da sich die Werte im Alpenraum (10-15 %) und im Mittelland und Jura (22 %) in derselben Groessenordnung bewegen.

==> Alle Einzugsgebiete mit einer empirisch festgelegten Mindestbeobachtungsdauer von 10 Jahren werden - falls sie die uebrigen Kriterien erfuellen - fuer die Abflussregimetypisierung verwendet.

S 2.2. REPRaesENTATIVE STATIONEN

Die in Tabelle 4 zusammengestellten Stationen erfuellen die oben diskutierten Auswahlkriterien. Auf ihrer Basis wird die Abflussregimetypisierung der suedalpinen Regimes durchgefuehrt. Ihre raeumliche Verteilung zeigt Figur 2.

Die vorliegende raeumliche Stichprobe darf als repraesentativ bezeichnet werden, da nicht nur alle Haupttaeler, sondern auch alle Hoehenstufen (mittlere Einzugsgebietshoehe 340-2670 m) darin vertreten sind. Im Gegensatz zu den repraesentativen Stationen des Alpenraumes und des Mittellandes sind die Einzugsgebiete insgesamt etwas kleiner (bis 200 km²). Auf die Repraesentativitaet bezueglich Vergletscherung wird an anderer Stelle eingegangen ("S 3.2. Typisierung der suedalpinen Regimes").

Die Moeglichkeit, die Stichprobe mit Abflussstationen aus dem italienischen Messnetz zu vergroessern, war nicht gegeben. Nach CATI(1983) koennen in unmittelbarer Naehe unseres Untersuchungsgebietes in den Einzugsgebieten des Toce, der Mera und der Adda nur ein paar wenige Stationen in Betracht gezogen werden. Da die Beurteilung dieser Stationen hinsichtlich Konsistenz, Homogenitaet und vor allem auch hinsichtlich Einzugsgebietsabgrenzung nicht moeglich war, wurde auf eine weitere Bearbeitung dieser Stationen verzichtet.

S 2.3. DATENSTRUKTUR

Einige wichtige Aspekte der Datenstruktur, wie zB. Konsistenz und Homogenitaet, aber auch die statistischen Verteilungsgesetze der Monatskoeffizienten wurden bereits diskutiert. Als weitere wichtige Punkte werden die Aussagekraft des Medians und die Variationen der Monatskoeffizienten naeher untersucht.

Tabelle 4. Repraesentative Stationen: Die Nummern beziehen sich auf die Lage in Figur 2.

| | Nr | Fluss | Messstelle | T | G | FN | MH | MAXH | MINH | ABK |
|----------------------------|----|---------------|--------------|---------|------|-----|------|------|------|---------|
| T I C I N O | 1 | Bavona | Bignasco | 1929-53 | 6.0 | 122 | 1950 | 3276 | 431 | BAVO295 |
| | 2 | Brenno | Campra | 1920-30 | 0.0 | 35 | 2050 | 3200 | 1403 | BREC203 |
| | 3 | Brenno | Olivone | 1921-30 | 2.2 | 167 | 2051 | 3398 | 890 | BRE0213 |
| | 4 | Calancasca | Buseno | 1952-62 | 0.9 | 120 | 1915 | 3199 | 740 | CALA526 |
| | 5 | Casserate | Pregassona | 1963-83 | 0.0 | 74 | 990 | 2116 | 290 | CASS638 |
| | 6 | Krummbach | Klusmatten | 1952-80 | 2.9 | 20 | 2276 | 3268 | 1792 | KRUM528 |
| | 7 | Laveggio | Mendrisio | 1963-83 | 0.0 | 15 | 440 | 617 | 295 | LAVE638 |
| | 8 | Maggia | Bignasco | 1929-53 | 0.2 | 194 | 1840 | 3075 | 549 | MAGB295 |
| | 9 | Moesa | San Giacomo | 1910-28 | 2.4 | 72 | 2120 | 3149 | 1160 | MOES102 |
| | 10 | R.Calneggia | Cavergno | 1967-83 | 0.0 | 24 | 1996 | 2921 | 885 | RICA678 |
| | 11 | R.Roggiasca | Roveredo | 1966-83 | 0.0 | 7 | 1711 | 2316 | 982 | RIRO668 |
| | 12 | Ticino | Piotta | 1925-45 | 4.0 | 158 | 2060 | 3193 | 1010 | TICI254 |
| | 13 | Traversagna | Arbedo | 1966-83 | 0.0 | 16 | 1280 | 2227 | 275 | TRAV668 |
| | 14 | Vedeggio | Isona | 1961-83 | 0.0 | 20 | 1450 | 2228 | 740 | VEDI618 |
| | 15 | Vedeggio | Bioggio | 1961-72 | 0.0 | 90 | 945 | 2228 | 290 | VEDB617 |
| | 16 | Verzasca | Corippo | 1930-67 | 0.0 | 189 | 1680 | 2864 | 500 | VERZ306 |
| | 17 | Zwischenbbach | Im Faeh | 1952-79 | 13.4 | 17 | 2531 | 4031 | 1820 | ZWIS527 |
| A | 18 | Albigna | Alpe Albigna | 1932-55 | 47.0 | 21 | 2670 | 3354 | 2100 | ALBI325 |
| D | 19 | Breggia | Chiasso | 1966-83 | 0.0 | 47 | 927 | 1701 | 250 | BREG668 |
| D | 20 | Faloppia | Chiasso | 1969-80 | 0.0 | 27 | 340 | 614 | 240 | FALO668 |
| A | 21 | Maira | Vicosporano | 1923-33 | 16.2 | 83 | 2376 | 3388 | 1160 | MAIR233 |
| | 22 | Poschiavino | La Roesa | 1970-83 | 0.0 | 14 | 2283 | 3032 | 1860 | POSC708 |

T Messperiode

G Vergletscherung in %

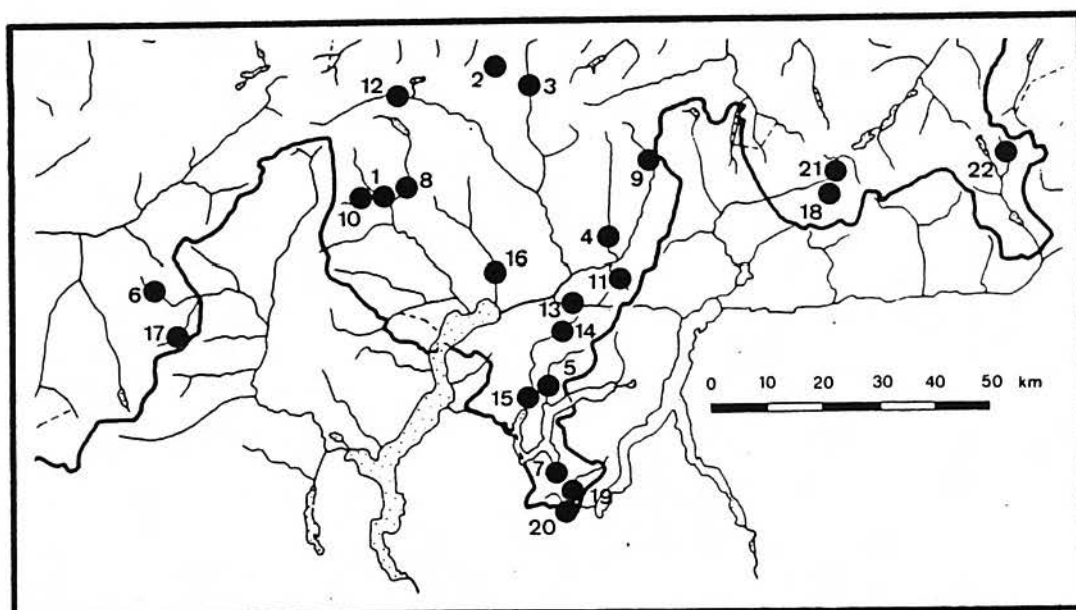
FN Einzugsgebietsgroesse in km²

MH mittlere Einzugsgebietshoehe in m

MAXH hoechster Punkt des Einzugsgebietes in m

MINH tiefster Punkt des Einzugsgebietes in m

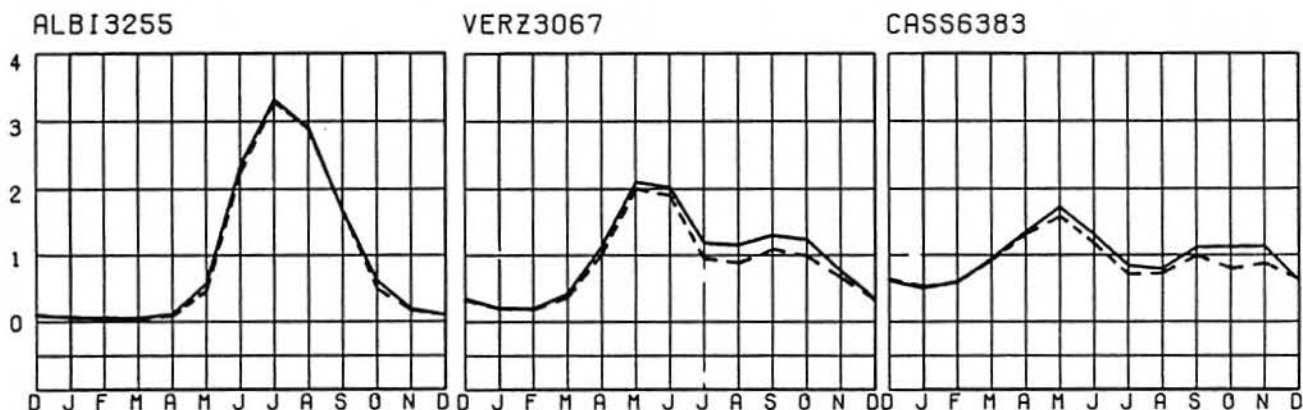
ABK im folgenden gebraeuchliche Abkuerzung fuer repraes. Station



Figur 2. Raeumliche Verteilung der repraesentativen Stationen: Die Nummern beziehen sich auf die Angaben in Tabelle 4.

S 2.3.1. Median und Mittelwert

Die Monatskoeffizienten sind zu rund 78 % normalverteilt; der Rest weist eine leicht positive Schiefe auf, folgt also einer PEARSON-III-Verteilung, die sich als Wahrscheinlichkeitsverteilung fuer Abfluesse bewaehrt hat (SIEGERSTAETTER 1973, GLOS 1966). Es darf deshalb erwartet werden, dass sich Regimekurven aufgrund von Medianen von denjenigen von Mittelwerten unterscheiden. Es stellt sich somit die Frage, ob grundsaeztlich sogar andere Regimes auftreten. Allerdings deutet die Tatsache, dass 78 % der PEARSON-verteilten Monatskoeffizienten mit nur kleinem Fehler durch eine Normalverteilung approximiert werden koennen (vgl. "S 2.1.2. Notwendige Beobachtungszeit"), darauf hin, dass dies kaum der Fall sein duerfte. Tatsaechlich zeigt auch Figur 3, dass die Unterschiede zwischen Mediankurven und Mittelwertskurven klein sind. Einige Unterschiede koennen dennoch festgestellt werden:



Figur 3. Vergleich Mittelwertskurve - Mediankurve von Einzugsgebieten verschiedener Hoehenlage.

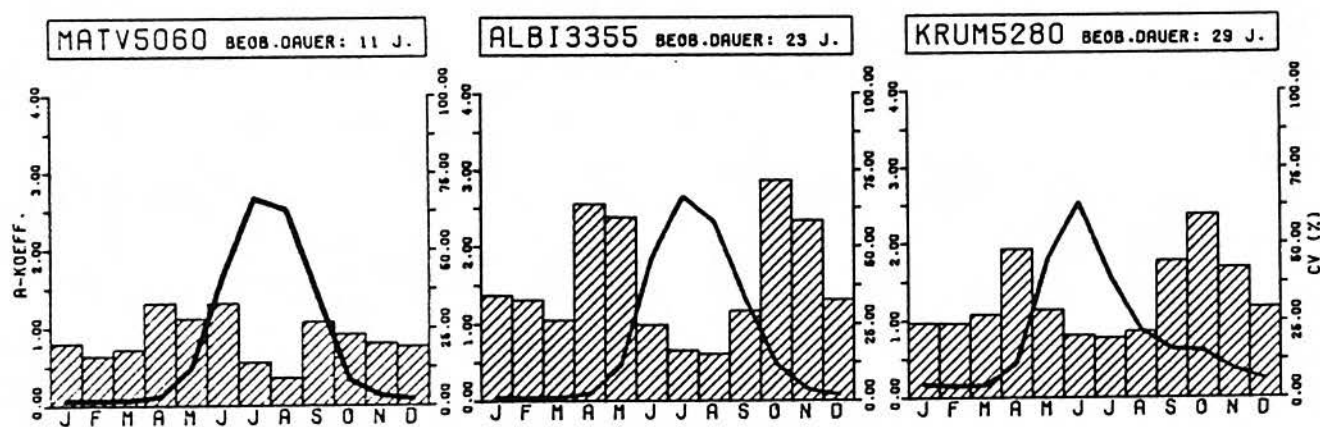
| | | |
|---|-----------------------|---------|
| A | Albigna, Alpe Albigna | 1932-55 |
| B | Verzasca, Corippo | 1930-67 |
| C | Cassrate, Pregassona | 1963-83 |

In den hoeheren Lagen und insbesondere bei starker Vergletscherung (vgl. Albigna) sind die beiden Regimekurven identisch. Bei den uebrigen Einzugsgebieten liegt die Mediankurve wegen der leicht positiven Schiefe der Monatskoeffizienten etwas tiefer und verlauft bis zu den pluvial beeinflussten Herbstmonaten parallel zur Mittelwertskurve (vgl. Verzasca und Casserate). Erst hier werden die Unterschiede groesser, doch der allgemeine Charakter der Regimekurve aendert sich nicht. In diesen Feststellungen spiegelt sich die Tatsache, dass die Abflusskoeffizienten der Monate Juli bis November nur zu ca. 65 % normalverteilt sind. Die hohe Variabilitaet der Niederschlaege wirkt sich im mittleren Abflussgang aus, indem einzelne Hochwasser den Verlauf der Mittelwertskurve beeinflussen.

Die ausgewaehlten Beispiele koennen als stellvertretend fuer die Abfluesse des Untersuchungsgebietes angesehen werden. Man darf somit davon ausgehen, dass eine Regimetypisierung aufgrund von Mediankurven das gleiche Resultat liefert, wenn der Differenzierungsbereich beim Hauptmaximum liegt. Die beiden Regimekurven sind dort mehr oder weniger identisch. Aus praktischen Gruenden wird im folgenden deshalb der Mittelwertskurve der Vorrang gegeben. Trotzdem muss in den Herbstmonaten bei der Interpretation der pluvialen Komponente des Abflussganges die asymmetrische Verteilung der Abflusskoeffizienten beachtet werden.

5 2.3.2. Die Variationen der Monatskoeffizienten

Eine vergleichende Analyse der Variation der Abflusskoeffizienten erfolgt am besten mit Hilfe des Variationskoeffizienten. Dieser misst die Standardabweichungen am Mittelwert und ist deshalb zu Vergleichszwecken geeignet. Wie wir unter "5 2.1.2. Notwendige Beobachtungszeit" gesehen haben, sind nicht alle Monatskoeffizienten normalverteilt. Bei nicht normalverteilten Abflusskoeffizienten ist die Interpretation des Variationskoeffizienten erschwert. Trotz dieser Einschränkung gewinnt man durch die Analyse der Variation der Monatskoeffizienten einen weiteren guten Einblick in das Abflussverhalten suedalpiner Einzugsgebiete.



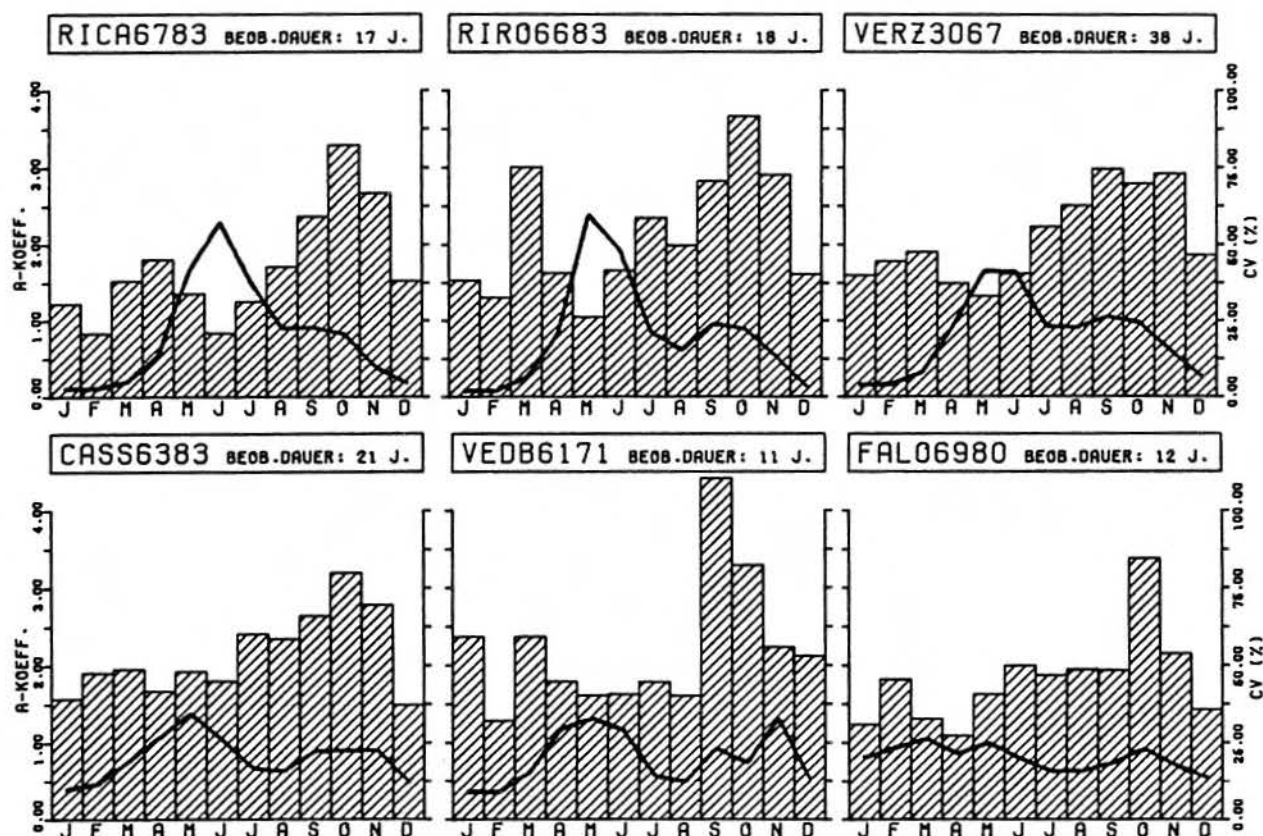
Figur 4. Abflussregimes und Variationskoeffizienten bei staerker vergletscherten Einzugsgebieten im Vergleich zu einem alpinen Regime.

| | | |
|----------|-----------------------|---------|
| MATV5060 | Matter Vispa, Zermatt | 1950-60 |
| ALBI3255 | Albigna, Alpe Albigna | 1932-55 |
| KRUM5280 | Krummbach, Klusmatten | 1952-80 |

In Figur 4 und Figur 5 sind sich beispielhaft Abflussregimes und Variationskoeffizienten des Untersuchungsraumes gegenuebergestellt. Es lassen sich folgende Feststellungen machen:

- Die Variationskoeffizienten weisen einen charakteristischen Jahresgang auf. Dieser ist dem Abflussregime entgegengesetzt: dem Maximum des Abflusses entspricht ein Minimum der Variationskoeffizienten. Das Abflussmaximum besitzt demnach die kleinste Variation innerhalb eines Jahres.
- In den hoeheren Lagen weist die Ganglinie der Variationskoeffizienten zwei ausgepraegte Maxima im aufsteigenden und absteigenden Ast der Abflusskurve auf. Waehrend bei den alpinen Einzugsgebieten das Maximum auf das Fruehjahr faellt (Matter Vispa in Figur 4), ist bei suedalpinen Einzugsgebieten das Herbstmaximum ausgepraegter. Im alpinen Raum ergeben sich die groessten Variationen im jaehrlichen Abflussgang durch das unterschiedliche Einsetzen und die sich wandelnde Intensitaet der Schneeschmelze, im suedalpinen Raum durch stark variierende Niederschlagsverhaeltnisse im Herbst. Neben dieser zeitlichen Verschiebung sind die suedalpinen Variationskoeffizienten durchschnittlich auch etwas groesser: die Abflussregimes des Untersuchungsraumes zeigen eine groessere Variation als entsprechende Regimes auf der Alpennordseite.
- Der typische Jahresgang der Variationskoeffizienten bleibt in seinen Grundzuegen auch in den tiefer gelegenen Einzugsgebieten erhalten (Figur 5). Der Unterschied zwischen Fruehjahres- und Herbstmaximum der

Variationskoeffizienten verstaerkt sich weiter. Die Variationen der Herbstabfluesse sind sehr gross und haengen direkt mit den Variationen der Niederschlaege zusammen.



Figur 5. Abflussregimes und Variationskoeffizienten bei suedalpinen Einzugsgebieten:

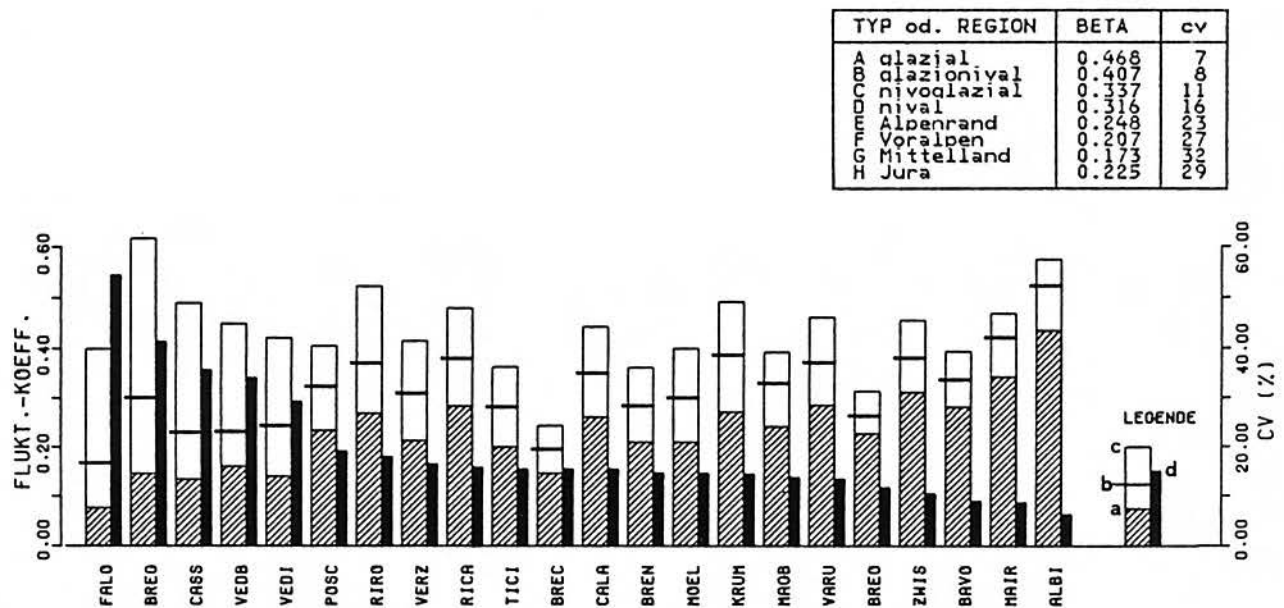
| | | |
|----------|------------------------|---------|
| RICA6783 | R. Calneggia, Cavergho | 1967-83 |
| RIR06683 | R. Roggiasca, Roveredo | 1966-83 |
| VERZ3067 | Verzasca, Corippo | 1930-67 |
| CASS6383 | Cassarate, Pregassona | 1963-83 |
| VEDB6171 | Vedeggio, Bioggio | 1961-71 |
| FAL06980 | Faloppia, Chiasso | 1969-80 |

Durch die Tatsache, dass auch in suedalpinen Einzugsgebieten das Abflussmaximum die kleinste Variation zeigt, ist eine gute Ausgangslage geschaffen, die Lage und ev. das Ausmass des Abflussmaximums als Typisierungskriterium zu verwenden. Wegen der hohen Variationskoeffizienten ist hingegen das sekundaere Abflussmaximum im Herbst als Typisierungskriterium nur bedingt geeignet: fuer verlaessliche Aussagen waere hier eine sehr lange Beobachtungszeit notwendig. Zu stark beeinflussen beim vorliegenden Beobachtungsmaterial (empirisch festgelegte Mindestbeobachtungsdauer 10 Jahre) einzelne Hochwasser den mittleren Abflussgang.

S 2.3.3. Jaehrliche Fluktuationen

Im Teil II (Kap. M 1.2.) haben wir die Repraesentativitaet der Mittelwertskurve untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass im alpinen Raum (mittlere Einzugsgebietshoehe groesser als 1550 m) die Mittelwertskurve auch fuer Einzeljahre eine gute bis sehr gute Repraesentativitaet besitzt. Im Mittelland hingegen besteht ein krasses Missverhaeltnis zwischen Periodenmittel und Einzeljahr. Im folgenden interessiert nun die Frage, wo die suedalpinen Einzugsgebiete diesbezuglich eingeordnet werden muessen.

Die Repraesentativitaet der Mittelwertskurve kann mit den Variationen des Fluktuationskoeffizienten nach KARDOS(1975:125f.) erfasst werden. Der Fluktuationskoeffizient selbst gibt Auskunft ueber die Schwankungen innerhalb eines Jahres. Die Berechnung und Bedeutung dieses Koeffizienten ist im Teil II (Kap. M 1.2.1.) ausfuehrlich beschrieben. Die Anwendung auf die repraesentativen Stationen und der Vergleich mit den alpinen und mittellaendischen Regimetypen ergibt folgendes Bild (vgl. Figur 6):



Figur 6. Darstellung der Fluktuationskoeffizienten nach KARDOS(1975) des Untersuchungsgebietes im Vergleich mit Werten der Alpen, des Mittellandes und des Jura.

- a minimaler Fluktuationskoeffizient der Beobachtungsperiode
- b mittlerer Fluktuationskoeffizient der Beobachtungsperiode
- c maximaler Fluktuationskoeffizient der Beobachtungsperiode
- d Variationskoeffizient

Mit Ausnahme der Albigna, die einen glazialen Wert aufweist, zeigen die meisten uebrigen Gebiete Fluktuationskoeffizienten, wie sie fuer die nivalen Regimes der Alpen ('nivoglazial', 'nival') und des Mittellandes ('nival de transition') charakteristisch sind. Kleine Fluktuationskoeffizienten, vergleichbar mit jenen des tieferen Mittellandes, besitzen nur gerade der Brenno-Campra und die Faloppia-Chiasso. Die Unterschiede der Fluktuationskoeffizienten von Jahr zu Jahr liegen in den Groessenordnungen der erwaehten Regimetypen. Die Schwankungen betragen mit Ausnahme der Einzugsgebiete suedlich des Monte Ceneri, wo die Werte hoeher sind, 13-20 %. Die Schwankungsbreiten des Vedeggio und der Casserate entsprechen den pluvialen Regimes des Mittellandes. Bei der Faloppia

und der Breggia zeigen sich sogar jaehrliche Unterschiede, wie sie sonst nirgends in der Schweiz zu beobachten sind: die Variationen der Fluktuationskoeffizienten betragen 42 resp. 55 %. Diese Einzugsgebiete zeigen ein von Jahr zu Jahr sehr unterschiedliches Abflussverhalten.

Aufgrund der vorliegenden Resultate duerfen wir fuer die Einzugsgebiete ueber rund 1000 m mittlerer Einzugsgebietshoehe eine mittlere Repraesentativitaet der Mittelwertskurve erwarten, wie sie auf der Alpennordseite in entsprechenden Hoehenlagen auch beobachtet wird. Die mehrheitlich pluvial beeinflussten Einzugsgebiete suedlich des Monte Ceneri sind in diesem Zusammenhang den mittellaendischen Einzugsgebieten aehnlich.

S 3. TYPISIERUNG

S 3.1. AUSGANGSLAGE

Im Gegensatz zum alpinen Raum fehlt auf der Alpensuedseite ein eindeutiges raeumliches Kriterium, um eingipflige und mehrgipflige Regimes zu unterscheiden; die Regimes der Alpensuedseite muessen demnach als ganzes betrachtet werden. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen wird versucht, fuer die Regimes der hoeheren Lagen alpine, fuer jene der tieferen Lagen mittellaendisch-jurassische Typisierungskriterien anzuwenden (vgl. Teil I, Kap. A 3.3. und Teil II, Kap. M 3.2.).

In Tabelle 4 auf S. S-9 ist die verfuegbare Stichprobe beschrieben. Sie ist insofern fuer eine Typisierung unguenstig, als Einzugsgebiete mit mehr als 6 % arealer Vergletscherung nur gerade durch drei Stationen, deren Einzugsgebiete mittlere Hoeehen > 2300 m aufweisen, repraesentiert werden:

- Albigna-Alpe Albigna: 47.0 % Gletscher, mittl. Hoehe 2670 m.ue.M
- Maira-Vicosoprano: 16.2 % Gletscher, mittl. Hoehe 2376 m.ue.M
- Zwischenbergenbach-Im Faeh: 13.4 % Gletscher, mittl. Hoehe 2531 m.ue.M.

Wie die folgenden Ausfuehrungen zeigen, weisen diese drei Stationen eine grosse Verwandtschaft zu den alpinen Typen auf.

a) Albigna, Alpa Albigna

Die Albigna-Alpe Albigna (ALBI3255) ist - nach alpinen Kriterien - mit der Abfolge

JULI > AUGUST > JUNI > SEPTEMBER

ein Vertreter des a-glazialen Typs. Die Mittelwerte der sommerlichen Monatsabfluesse erfuellen die alpinen Genauigkeitsanforderungen (s. Teil I, Kap. A 3.1.2.).

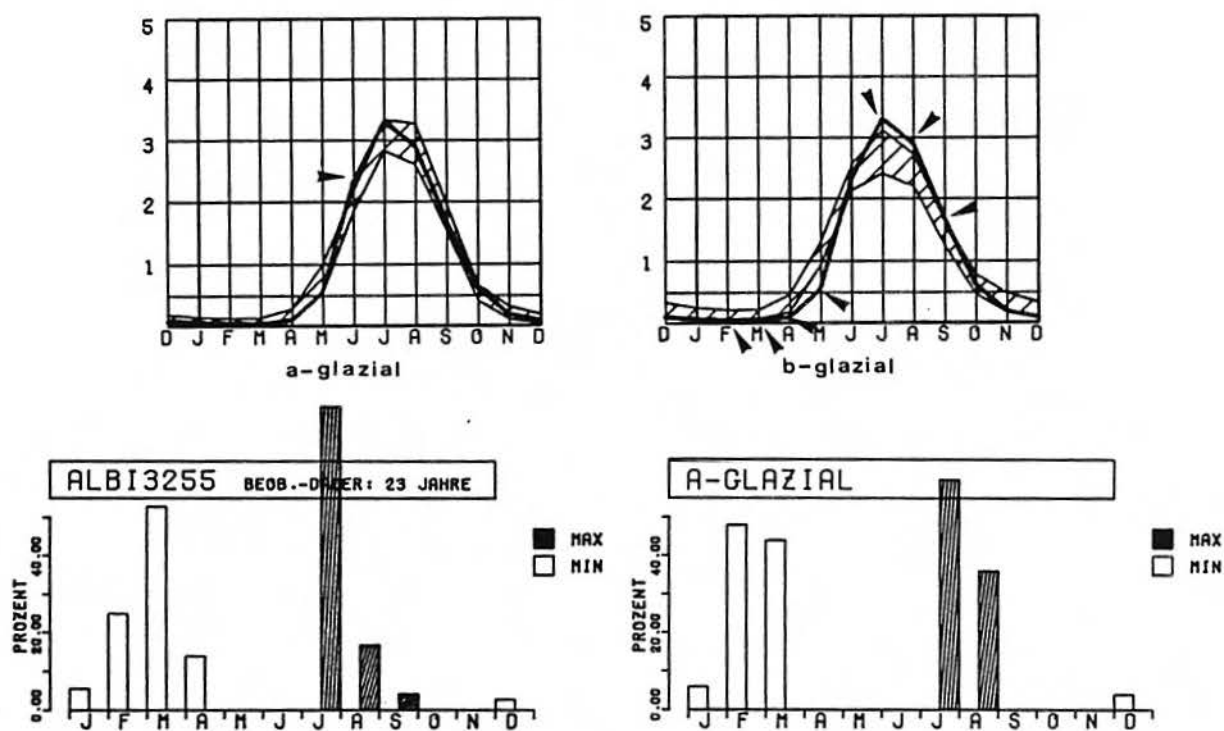
In Figur 7 sind die mittlere Regimekurve und die Haeufigkeitsverteilungen der Maxima und der Minima der Albigna-Alpe Albigna dargestellt. Diese und weitere Parameter bilden die Basis fuer den Vergleich mit den alpinen glazialen Regimes in Tabelle 5.

Die Verwandtschaft ist sehr eng, wie es auch im Vergleich der Einzeljahre in Figur 8 zum Ausdruck kommt. Somit ist auch die Forderung, welche an Einzugsgebiete desselben Regimetyps gestellt wird, naemlich aehnliches Verhalten im Einzeljahr, erfuellt. Die gute Uebereinstimmung der Einzeljahre wird vor allem auch dadurch erzielt, weil sich die Temperaturverhaeltnisse, welche den primaelen Steuerfaktor darstellen, in der Hoeehenlage der glazialen Regimes nord- und suedalpin wenig unterscheiden, wie am Beispiel in Figur 9 auf S. S-18 gezeigt werden kann: Fuer die glazialen Monatsabfluesse scheint vor allem die Juli-Temperatur sehr bedeutsam zu sein:

1952: Die mittlere Juli-Temperatur ist beidseits der Alpen als signifikantes Maximum hervorgehoben; entsprechend ausgepraegt sind die Abflussregimes der Linth und der Albigna.

Tabelle 5. Vergleich nord- und suedalpiner glazialer Regimes

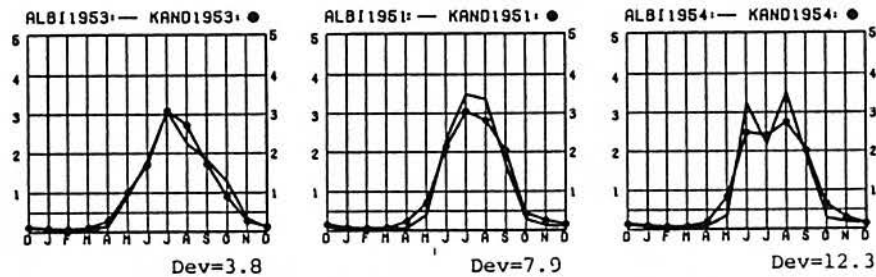
| FAKTOR | ALBIGNA | VERHANDTSCHAFT NORDALPIN | BEMERKUNGEN |
|--|--|--------------------------|--|
| Abfolge im Bereich des Maximums | Jul>Aug>Jun>Sep | a-glazial | Albigna: Die Monate Juni - Sep < 10% genau |
| Groesse der AK | Figur 7 | a-glazial | |
| Glazialitaet | 2.85 | a-glazial | Quot. Jul+Aug+Sep, Apr+Mai+Jun |
| Haeufigkeitsverteilung | Figur 7 | glazial | |
| Variationen der Abflusskoeffizienten (%) | Jan 34 Feb 33 Mrz 26 Apr 64 Mai 59 Jun 25 Jul 16 Aug 15 Sep 29 Okt 72 Nov 58 Dez 33 | glazial | <-- Unterschied <-- Unterschied <-- Unterschied <-- Unterschied |
| Verschiedenheit der Einzeljahre | 6% | glazial | Variationen des Fluktuationskoeffizienten |



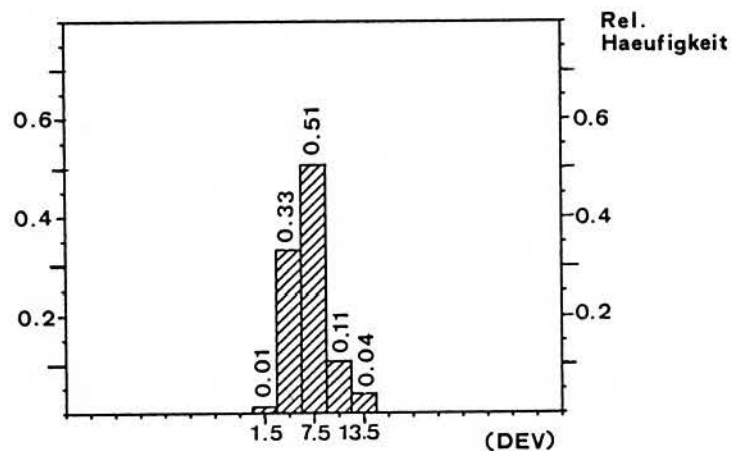
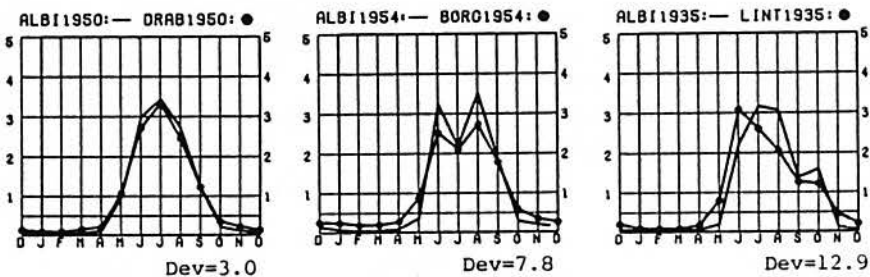
Figur 7. Das mittlere Regime und die Haeufigkeitsverteilung maximaler und minimaler Abfluesse der Albigna im Vergleich mit alpinen, glazialen Richtwerten. Der schraffierte Bereich bei den Regimes entspricht den alpinen Richtwerten.

➤ : Abweichung der Regimekurve der Albigna von den Richtwerten.

Vergleich Albigna - alpine a-glaziale Regimes



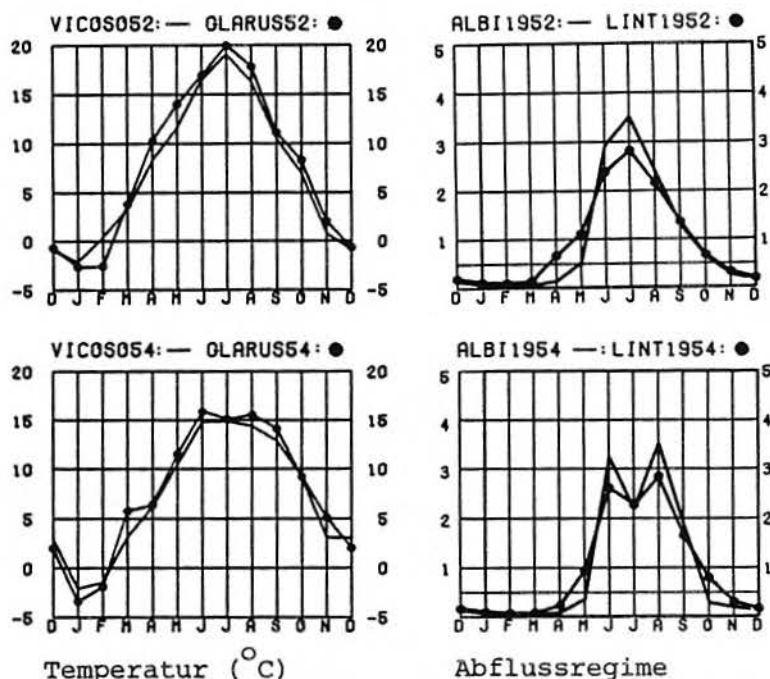
Vergleich Albigna - alpine b-glaziale Regimes



Figur 8. Vergleich der Einzeljahre nord- und suedalpiner glazialer Regimes: Der Vergleich umfasst die Albigna und diejenigen alpinen glazialen Regimes, welche mit der Albigna identische Messjahre aufweisen. Im visuellen Vergleich wird das Spektrum der Uebereinstimmung exemplarisch aufgezeigt, waehrend das Histogramm alle moeglichen Vergleiche summarisch zusammenfasst. Die Deviation (Dev) ist eine Masszahl zur Beschreibung der Aehnlichkeit von beobachteten und geschaetzten Kurvenverlaeuften (vgl. Teil II, Kap. M 5.2.3.).

1954: Die mittlere Juli-Temperatur hebt sich nicht von den benachbarten Monaten ab; beidseits der Alpen kann ein "Einbruch" im Bereich der maximalen Abflusses beobachtet werden.

Unterschiede sind nur in den Variationen der Abflusskoeffizienten im Frühjahr (April, Mai) und im Herbst (Oktober, November) zu erkennen (s. "S 2.3.2. Die Variationen der Monatskoeffizienten" auf S. S-11). Insgesamt ist die Albigna-Alpe Albigna sehr stark mit den alpinen glazialen Regimes verwandt.



Figur 9. Die Temperatur als Hauptsteuerfaktor der glazialen Regimes:

Temperatur: Vicosoprano (VICO) und Glarus

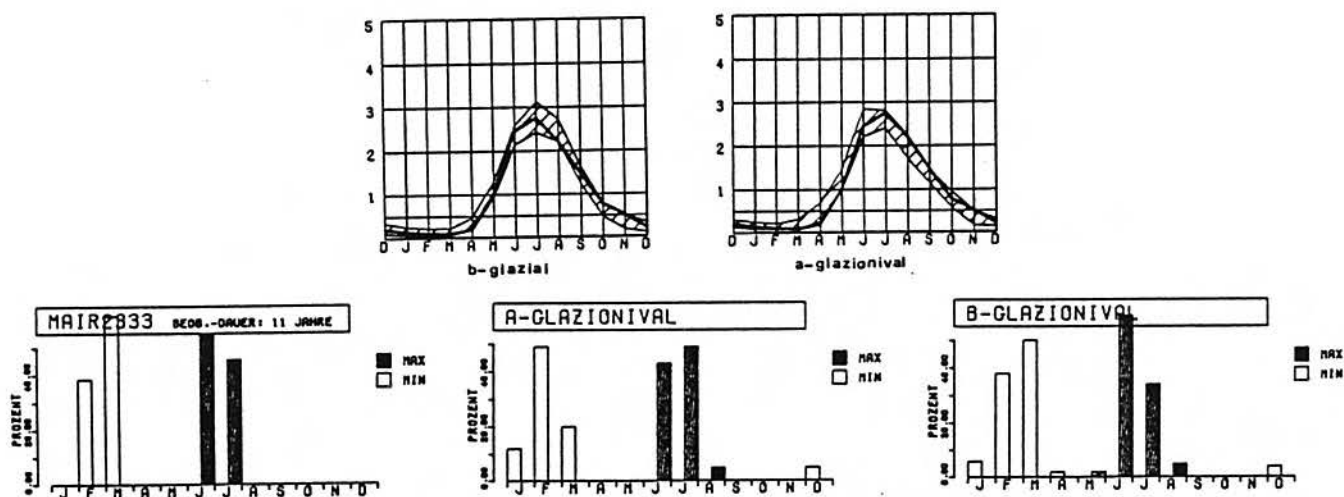
Regimes: Albigna-Alpe Albigna (ALBI) und Linth-Tierfehd (LINT)

Verglichene Jahre: 1952 und 1954

b) Maira, Vicosoprano

Aufgrund der Ausprägung der entscheidenden (Regime-) Parameter lassen sich fuer die Maira-Vicosoprano (MAIR2333) folgende Beziehungen zu den alpinen Typen ableiten:

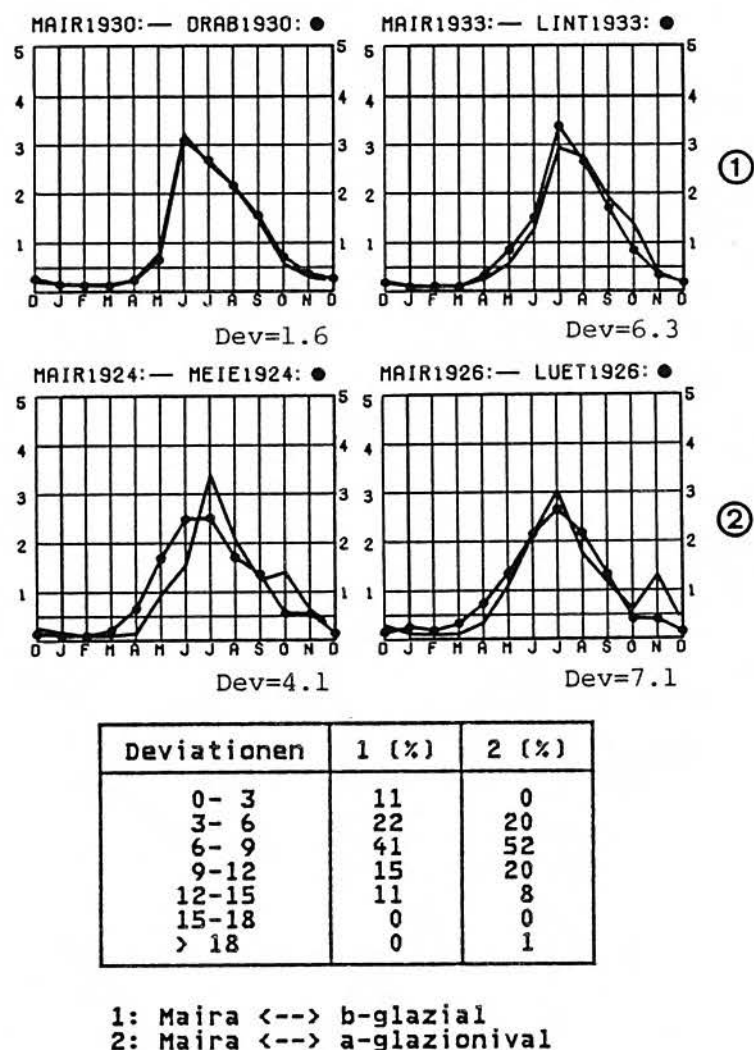
- Rangfolge im Bereich des Maximums: Die Mittelwerte der maximalen Monatsabflüsse sind bei der Maira-Vicosoprano weniger genau als es die alpinen Typisierungsnormen erfordern. Aber auch ohne Beruecksichtigung der Signifikanzen laesst sich das Regime der Maira unschwer als dem alpinen a-glazionalen Typ verwandt erkennen.
- Aus der Sicht des Ausmasses der monatlichen Abflusskoeffizienten stellt die Maira eine Uebergangsform zwischen glazialen und glazionalen Regimes dar (vgl. Figur 10).
- Die Haeufigkeitsverteilung der Maximalabflüsse, dargestellt in Figur 10, weist die Maira als glazionalen Regime aus.



Figur 10. Das mittlere Regime und die Haeufigkeitsverteilung maximaler und minimaler Abfluesse der Maira im Vergleich mit alpinen, b-glazialen und glazionivalen Richtwerten. Der schraffierte Bereich bei den Regimes entspricht den alpinen Richtwerten.

- Der mittlere Glazialitaetskoeffizient der Maira von 1.9 zeigt, dass die sommerlichen Abfluesse im Mittel noch stark ueberwiegen (Glazialitaetskoeffizient s. Kap. A 4.6.2.). Nach alpinen Normen sind Glazialitaetskoeffizienten zwischen 1.6 und 2.0 fuer b-glaziale Abflussregimes typisch.
- Die Variationen des Fluktuationskoeffizienten ($C_v \text{ Beta}[\text{Jahr}]$) liegen im Rahmen der alpinen glazialen und glazionivalen Regimes (vgl. "S 2.3.3. Jaehrliche Fluktuationen" auf S. S-13).
- Die Variationen der monatlichen Abflusskoeffizienten zeigen nur geringe Unterschiede zu den alpinen glazialen und glazionivalen Regimetypen. Auffallend sind vor allem die wiederum hoeheren Variationen im Oktober und hauptsaechlich im November; im Monat November stehen dem Variationskoeffizienten der Maira von 66 % alpine Werte von 35 % (b-glaziales Mittel) bzw. 33 % (a-glazionivales Mittel) gegenueber.

Folgerungen: Die Maira-Vicosoprano laesst sich aufgrund des bei der Typisierung entscheidenden Parameters "Rangfolge" und aufgrund der Haeufigkeitsverteilung als alpines a-glazionivales Regime ausweisen. Der Glazialitaetskoeffizient und die Abflusskoeffizienten sprechen eher noch fuer glazialere Verhaeltnisse. Dabei muss allerdings beruecksichtigt werden, dass im Einzugsgebiet der Maira die Nordexpositionen stark ueberwiegen, so dass allgemein die Schmelzprozesse verzoeigert und dadurch glazialere Verhaeltnisse vorgetauescht werden. Auch spricht die areale Vergletscherung der Maira - zwar an alpinen raeumlichen Richtwerten gemessen - recht eindeutig fuer a-glazionivale Verhaeltnisse. Es gilt aber auch zu bedenken, dass durchaus Uebergangsformen zwischen zwei Regimetypen auftreten koennen, da sich der Uebergang von einem Typ auf einen anderen kontinuierlich vollzieht.



Figur 11. Vergleich der einzeljaehrlichen Regimes der Maira-Vicosoprano mit alpinen b-glazialen und a-glazionivalen Stationen.

Der Vergleich der Einzeljahre in Figur 11 beweist ebenfalls die Verwandtschaft mit den alpinen Regimes; er gibt aber keine weiteren Hinweise zur Frage der Typzugehoerigkeit.

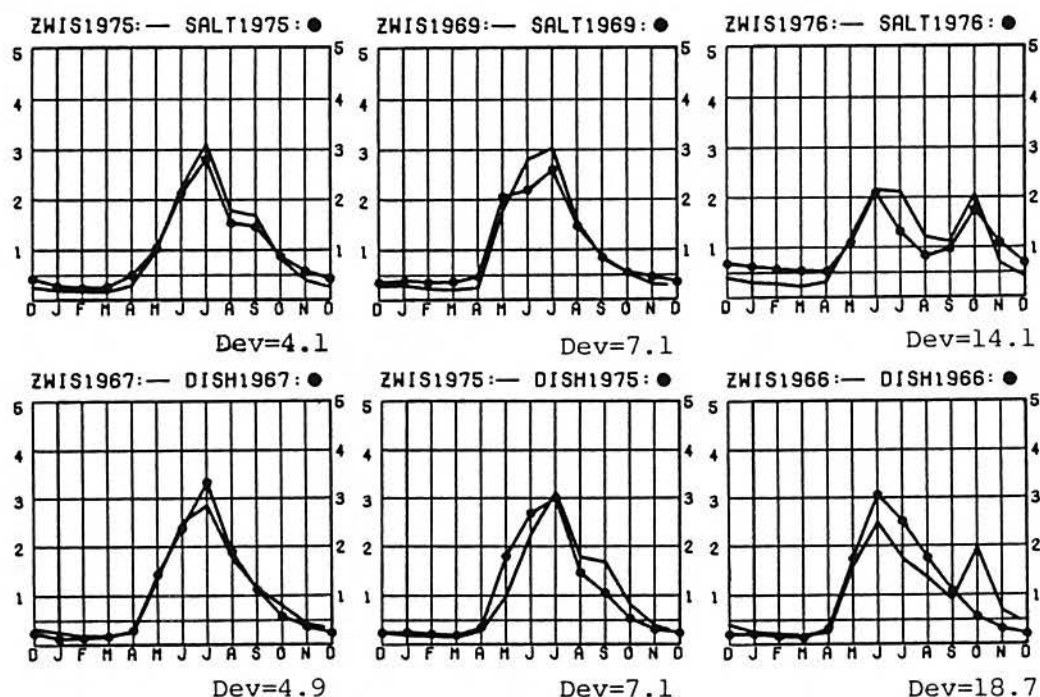
Gemaess den vorliegenden Resultaten koennen wir die Maira-Vicosoprano den alpinen a-glazionivalen Regimes zuordnen.

c) Zwischenbergenbach, Im Faeh

Der Zwischenbergenbach-Im Faeh (ZWIS5279), an der Suedabdachung des Simplons im Toce-Einzugsgebiet gelegen, erfuehlt die alpinen Genauigkeitsanforderungen und kann aufgrund der Rangfolge im Maximalbereich der mittleren Regimekurve

JUNI - JULI > AUGUST > MAI

als b-glazionivaler Typ identifiziert werden. Der Vergleich wichtiger (Regime-) Parameter hat diese Zugehoerigkeit bestaetigt, so dass wir in Tabelle 6 nun noch zeigen koennen, dass eine weitgehende Uebereinstimmung zwischen dem Regime des Zwischenbergenbachs und den b-glazionivalen Regimes be-



| Deviationen | Anzahl Realisierungen | |
|-------------|-----------------------|------------------|
| | Zwis-Saltina | Zwis-Dischmabach |
| 0- 3 | 0 | 0 |
| 3- 6 | 5 | 3 |
| 6- 9 | 8 | 7 |
| 9-12 | 0 | 2 |
| 12-15 | 1 | 1 |
| 15-18 | 0 | 0 |
| > 18 | 0 | 1 |

Figur 12. Vergleich der einzeljaehrlichen Regimes des Zwischenbergenbach-Im Faeh mit alpinen b-glazionalen Regimes. Die Graphiken zeigen von links nach rechts den besten, einen mittleren und den schlechtesten Fall der Uebereinstimmung.

steht, eine Uebereinstimmung, die auch in den Einzeljahren erfuehrt ist, wie Figur 12 veranschaulicht.

Fazit

Es spricht zusammenfassend nichts dagegen, die alpinen Richtwerte der glazialen und glazionalen Regimes auf suedalpine Einzugsgebiete mit Vergletscherungen > 6 % und mittleren Hoeehen ueber 2300 m zu uebertragen. Zur raeumlichen Identifikation muessen mangels anderer Angaben die alpinen raeumlichen Richtwerte - Vergletscherung und mittlere Einzugsgebietshoehe - uebernommen werden.

Immerhin stimmen bei der Albigna-Alpe Albigna und der Maira-Vicosoprano der nach diesen raeumlichen Richtwerten geschaeetzte und der anhand der mittleren Kurve und weiterer Parameter identifizierte Regimetyp ueberein. Der Zwischenbergenbach erscheint aufgrund der raeumlichen Parameter glazialer, naemlich a-glazional statt, seinem Regime entsprechend, b-glazional. Die Vergletscherung liegt allerdings nur 1.4 % ueber dem b-glazionalen Grenzwert.

Tabelle 6. Vergleich wichtiger Parameter des Zwischenbergenbach-Im Faeh mit den entsprechenden alpinen b-glazionalen Richtwerten.

| Parameter | Zwischenbergenbach | b-glazionivale Richtwerte | Vergleich |
|--|--------------------|---------------------------|-----------|
| Haeufigkeits- verteilung Maximum (%) | Mai 0 | 0- 4 % | = |
| | Juni 54 | 56-67 % | = |
| | Juli 39 | 25-41 % | = |
| | August 0 | 0-11 % | = |
| | September, 4 | | |
| | Oktober 4 | 0- 4 % | = |
| Glazialitaet | 1.3 | 1.10-1.35 | = |
| Abfluss- koeffi- zienten | Januar 0.24 | 0.14-0.38 | = |
| | Februar 0.21 | 0.12-0.37 | = |
| | Maerz 0.20 | 0.14-0.38 | = |
| | April 0.31 | 0.28-0.48 | = |
| | Mai 1.23 | 1.22-1.50 | = |
| | Juni 2.73 | 2.42-2.87 | = |
| | Juli 2.51 | 2.17-2.60 | = |
| | August 1.70 | 1.57-1.88 | = |
| | September 1.15 | 0.94-1.46 | = |
| | Oktober 0.92 | 0.61-0.96 | = |
| | November 0.47 | 0.36-0.74 | = |
| | Dezember 0.31 | 0.14-0.45 | = |

S 3.2. TYPISIERUNG DER SUEDALPINEN REGIMES

Wie eine Analyse der kleineren, autochthonen Einzugsgebiete (10-50 km²) zeigt, weisen nur sehr wenige eine areale Vergletscherung > 6 % auf, so dass die suedalpine Stichprobe, welche ausser den drei eben erwaehten Stationen nur Einzugsgebiete < 6 % Vergletscherung umfasst, als raeumlich repraesentativ angesehen werden darf.

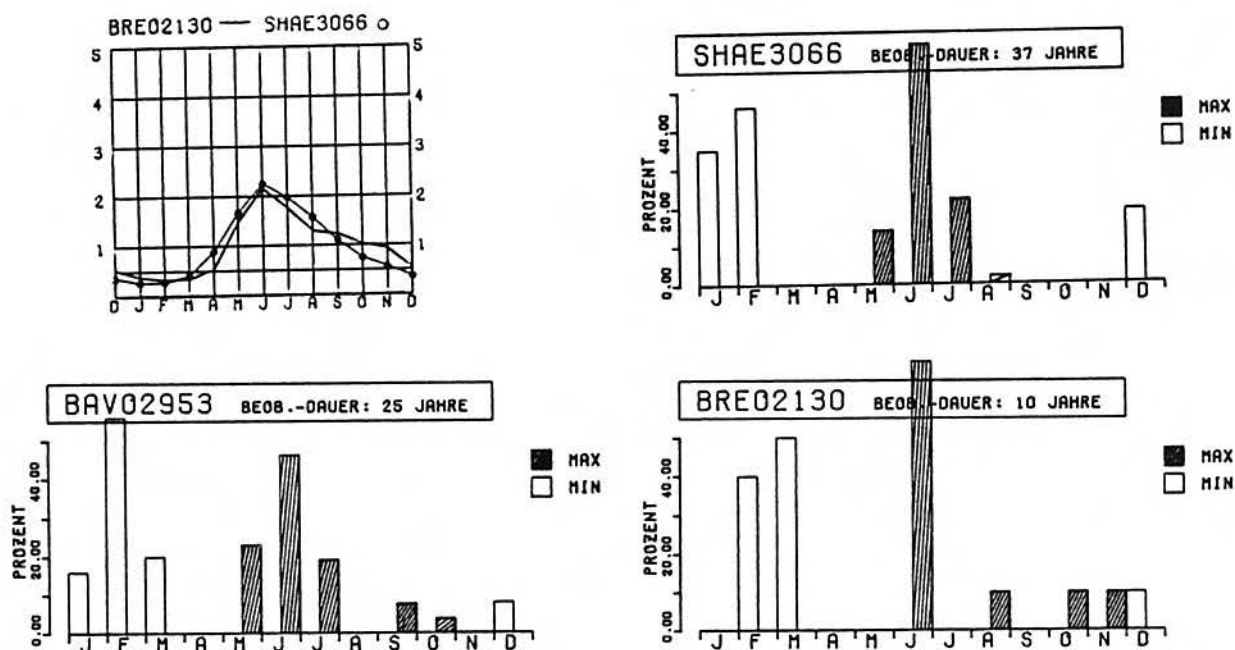
Fuer den groessten Teil der suedalpinen Einzugsgebiete kann deshalb auf der Grundlage dieser Stichprobe eine Typisierung vorgenommen werden. In diesen unter 2300 m mittlerer Einzugsgebietshoehe gelegenen Gebieten unterscheiden sich nun die Regimes so stark von den alpinen, dass es gerechtfertigt ist, von eigenstaendigen Typen zu sprechen. Vergleichen wir z.B. die Regimes nord- und suedalpiner Einzugsgebiete, welche zwischen 1900 und 2300 m mittlerer Hoehe liegen und eine areale Vergletscherung zwischen 1 und 6 % aufweisen: Dabei handelt es sich nach alpinen Normen um nivoglaziale Regimes. Beide weisen dann auch die Rangfolge Juni - Juli - Mai - August auf. Als wichtigstes Unterscheidungsmerkmal zu den alpinen Regimes sind aus der Sicht der suedalpinen der Ausbau der pluvial verursachten Abfluesse im Herbst zu nennen (s. Figur 13 und Tabelle 7):

- Erhoehung der mittleren Abflusskoeffizienten der Monate September bis November;
- Die Herbstmonate sind vermehrt Traeger des Hauptmaximums.

Auch weisen die suedalpinen herbstlichen Abflusskoeffizienten groessere Variationen auf.

Im weiteren ist in diesem Vergleich die Uebereinstimmung zwischen den Einzeljahren sehr unterschiedlich. Sie haengt weitgehend von den herbstlichen Niederschlagsverhaeltnissen ab (Figur 14):

- In Jahren grosser Aehnlichkeiten sind auch die Niederschlagsverhaeltnisse nord- und suedalpin vergleichbar; Beispiel 1931: Monate Juli bis Oktober ungefaehr gleich, November stark differenziert ==> sekundaeres Maximum im November bei den suedalpinen Regimes. Kleinere Unterschiede waehrend der Schmelzphase koennen auftreten.



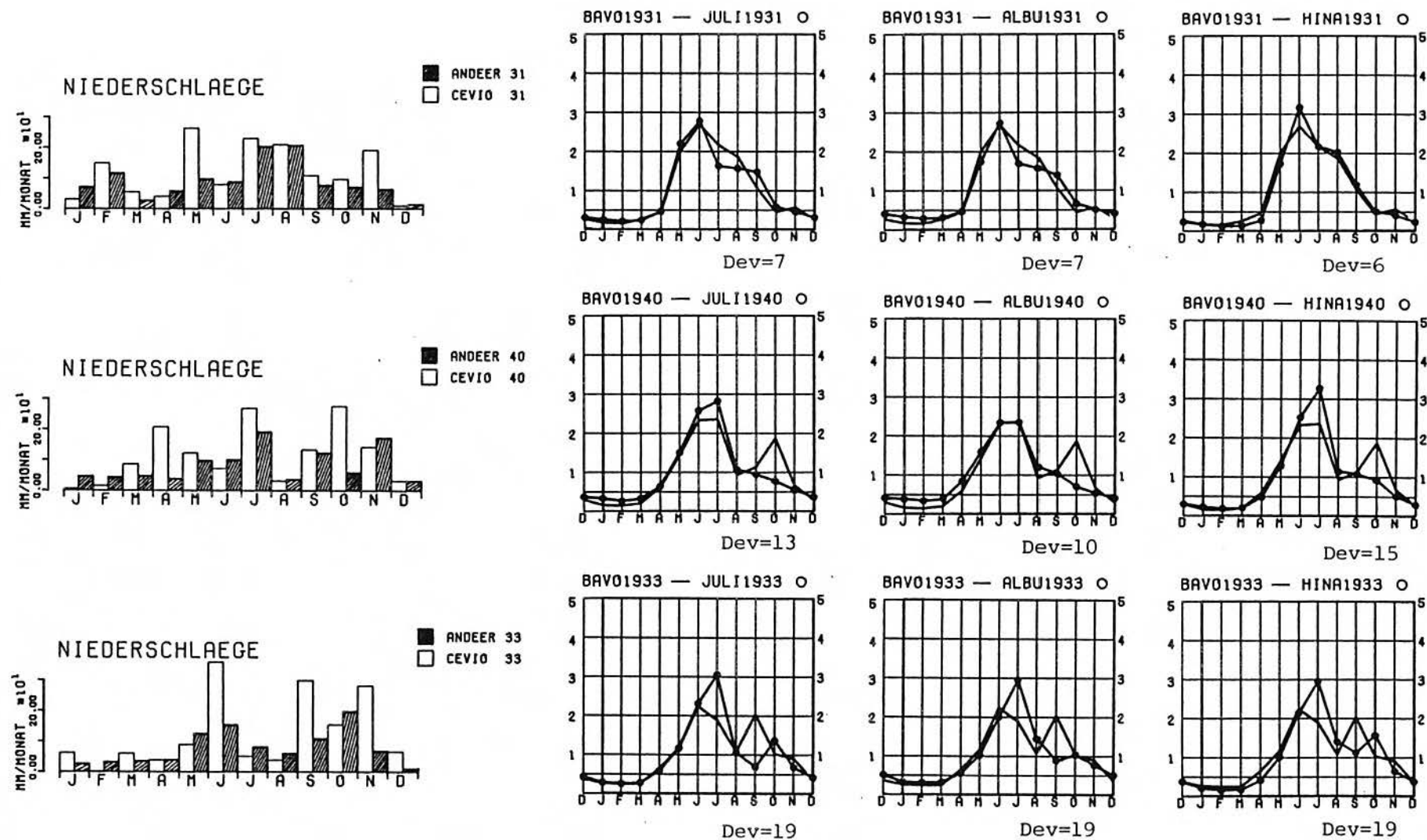
Figur 13. Vergleich der mittleren Regimes und der Haeufigkeitsverteilungen maximaler und minimaler Monatsabfluesse von nord- und suedalpinen Einzugsgebieten mit 1-6 % arealer Vergletscherung: Mittleres Regime des Schaechen-Buerglen und des Brenno-Olivona; Haeufigkeitsverteilungen des Schaechen (SHAE), der Bavona-Bignasco (BAVO) und des Brenno-Olivone (BRE0).

Tabelle 7. Variationen (%) der herbstlichen Monatsabfluesse: Bavona und Krumbach im Vergleich mit dem alpinen nivoglazialen Mittelwert.

| Monat | Bavona Krumbach | | Nordalpin nivoglazial |
|-----------|-----------------|----|--------------------------|
| August | 26 | 22 | 20 |
| September | 39 | 44 | 30 |
| Oktober | 60 | 60 | 39 |
| November | 48 | 43 | 37 |
| Dezember | 27 | 30 | 29 |

- In Jahren mit teilweiser Uebereinstimmung sind im Herbst bereits grosse Unterschiede feststellbar, deren Ursachen eindeutig in den verschiedenartigen Niederschlagsverhaeltnissen zu suchen sind; Beispiel 1940.
- In den mit einer Haeufigkeit von rund 15 % auftretenden Jahren ungenuegender bis fehlender Aehnlichkeiten treten noch zusaetzlich im Bereich des Maximums unterschiedlich wirksame Steuergroessen auf; Beispiel 1933 : Juni mit extremen Niederschlaegen im suedalpinen Raum. Sonst koennen wir aber feststellen, dass sich die nord- und suedalpin unterschiedlichen Niederschlagsverhaeltnisse im Fruehjahr und im Fruehsommer nicht entscheidend auf die Monatsabfluesse auswirken, da in diesem Zeitraum die Schmelzprozesse eindeutig dominieren.

Die dargestellten Unterschiede zwischen sued- und alpinen Regimes nehmen in tieferen Lagen aufgrund der weiteren Verstaerkung des pluvialen Einflusses zu. Das Beispiel der "nivoglazialen" Regimes hat gezeigt, dass wir es trotz identischer Rangfolge nord- und suedalpin mit unterschiedlichen Regimetypen zu tun



Figur 14. Vergleich der Einzeljahre nord- und suedalpiner Einzugsgebiete mit 1-6 % Vergletscherung unter Beruecksichtigung der Niederschlagsverhaeltnisse.

haben: Wir koennen in den mittleren Lagen der Alpensuedseite (Einzugsgebiete zwischen ca. 1800 und 2300 m mittlere Hoehe und $< 6\%$ Vergletscherung) zwar unter gewissen Vorbehalten den alpinen Typisierungsansatz verwenden, welcher versucht, die nivalen und glazialen Schmelzprozesse ueber die Rangfolge der Monatsabfluesse im Maximalbereich zu erfassen; wir muessen aber zusaetzlich noch den pluvialen Einfluss im Herbst beruecksichtigen, wobei hier aus verschiedenen Gruenden die Aussagekraft beschraenkt ist (s. Kap. S 2.3.). Zu den erwaehnten Vorbehalten gehoert insbesondere die Genauigkeit der Mittelwerte, welche es nur noch erlaubt, mit der Rangfolge zu arbeiten, welche es aber nicht mehr gestattet, die Signifikanz bzw. Nicht-Signifikanz als zusaetzliches Typisierungskriterium zu verwenden (s. Kap A 3.3.). Auch in bezug auf die Rangfolge fehlt infolge der Genauigkeiten der Mittelwerte im Maximalbereich zwischen 20 und 30 % der "letzte Beweis". Immerhin darf hier vorweggenommen werden, dass die Typisierung ueber die Rangfolge recht eindeutige Resultate erbracht hat.

Aufgrund der Rangfolge im Bereich des Maximums lassen sich vorerst - natuerlich unter Ausklammerung der Albigna, der Maira und des Zwischenbergenbachs - ein suedalpiner nivoglazialer und nivaler Typ erkennen, welche nun aber, wie eben gezeigt wurde, nicht den entsprechenden alpinen Typen gleichzusetzen sind:

nivoglazial: JUNI - JULI - MAI - AUGUST (SEPTEMBER)

nival: JUNI - MAI - JULI - AUGUST (SEPTEMBER) oder
MAI - JUNI - JULI - AUGUST (SEPTEMBER)

Diese beiden Typen lassen sich aber bei genauerer Betrachtung nicht aufrecht-erhalten:

1. Die aufgezeigten Unterschiede bestehen nur im Bereich maximaler Abfluesse, aber nicht bei den pluvial gesteuerten Herbstabfluessen;
2. Beide Typen sind raeumlich sehr eng verzahnt; es finden sich keine Kriterien (Raumparameter), sie raeumlich in ihrer Verbreitung zu differenzieren (s. "S 5. RAEUMLICHE UEBERTRAGUNG").

Es laesst sich deshalb nur ein nivaler Typ ausweisen, das 'régime nival méridional', welches zwei raeumlich nicht trennbare Gruppen - a-nival und b-nival - umfasst. Wir sprechen hier bewusst nicht von einer nivoglazialen Gruppe, sondern von einer a-nivalen Gruppe, da in dieser Gruppe auch Einzugsgebiete ohne Vergletscherung vertreten sind.

In den nicht vergletscherten Einzugsgebieten unterhalb rund 1800 m mittlerer Einzugsgebietshoehe nimmt der pluviale Einfluss weiter zu und der nivale Einfluss ab. Im Mittelland und Jura, wo diese Zunahme der pluvialen Komponente ebenfalls zu beobachten ist, konnten die Abflussregimes mit drei einfachen Kriterien typisiert werden. Es waren dies die Lage des abflussreichsten Doppelmonats (Summe der Abflusskoeffizienten zweier benachbarter Monate), der Zeitpunkt des Abflussminimums (Winter- oder Sommerhalbjahr) und die Variationsbreite des Abflussregimes. Untersucht man die einzelnen Kriterien an den suedalpinen repraesentativen Stationen, so macht man Feststellungen, die darauf hindeuten, dass diese Kriterien nicht direkt anwendbar sind:

- **Abflussreichster Doppelmonat:**

Das Spektrum der maximalen Doppelmonate ist deutlich kleiner als im nord-alpinen Raum. Mit wenigen Ausnahmen ist das Auftreten der abflussreichsten Monate auf MAI/JUN oder APR/MAI konzentriert. FEB/MRZ ist einzig bei der

Faloppia realisiert; die Kombination MRZ/APR kommt gar nicht vor. Inwieweit hier ein Effekt der kleinen Stichprobe vorliegt, ist nicht zu entscheiden.

- Zeitpunkt des Abflussminimums:

Der Uebergang des Abflussminimums vom Winterhalbjahr auf das Sommerhalbjahr, der im nordalpinen Raum zwischen 950 und 1050 m mittlerer Einzugsgebietshoehe zu beobachten ist, bildet sich auf der Alpensuedseite nicht aus. Auch in tieferen Lagen tritt das Abflussminimum immer in den Monaten Dezember bis Februar auf. In zwei Faellen kann man neben dem Winterminimum ein sekundaeres, im Ausmass ungefaehr gleich grosses Sommerminimum feststellen. Wegen der hohen Variationskoeffizienten ist es jedoch schwierig zu entscheiden, ob es sich um eine Gesetzmaessigkeit handelt; die Beobachtungszeit reicht nicht aus, um diese Frage schluessig zu beantworten. Aufgrund der hohen Reliefenergie, der damit verbundenen grossen Abflussbereitschaft der Einzugsgebiete und der besonderen Niederschlagsverhaeltnisse im Sommer und Herbst sind aber Hauptminima des Abflusses im Sommer kaum zu erwarten (vgl. Figur 23 auf S. S-45).

Mit dem Fehlen der Sommerminima des Abflusses faellt es wichtiges Typisierungskriterium dahin.

- Variationsbreite des Abflussregimes:

Die Hoehengrenze, die im nordalpinen Bereich ausgepraegte Regimes von relativ undifferenzierten Abflussregimes (Variationsbreite < 1 MQ[Periode]) trennt, liegt im suedalpinen Raum tiefer. Einzig die Einzugsgebiete der Faloppia (340 m mittlere Hoehe) und des Laveggio (440 m) weisen Variationsbreiten auf, die kleiner sind als das langjaehrige Abflussmittel.

Fazit

Die mittleren Abflussganglinien der suedalpinen Einzugsgebiete weisen Charakteristiken auf, die mit den mittellaendischen Typisierungskriterien nur ungenau erfasst werden koennen. Es stellt sich hier neu die Notwendigkeit, dem Raum angepasste Typisierungskriterien zu finden, die es gestatten, das Abflussverhalten der Einzugsgebiete unter 1800 m mittlerer Hoehe ausreichend zu differenzieren. Dabei wirken sich der kleine Stichprobenumfang und die hohen Variationskoeffizienten erschwerend aus, da fuer die einzelnen Typisierungskriterien kaum Grenzwerte formuliert oder festgelegt werden koennen.

Die Suche nach geeigneten Typisierungskriterien fuehrt zu folgenden Resultaten:

1. Variationsbreite des Abflussregimes:

Wie im nordalpinen Bereich ist die Variationsbreite geeignet, Regimes mit einem ausgepraegten Jahresgang von solchen mit einem ausgeglichenen mittleren Jahresgang zu unterscheiden. Mangels besserem Wissen wird der Grenzwert zwischen 'ausgepraegt' und 'ausgeglichen' wie im nordalpinen Raum auf 1 MQ[Periode] festgelegt.

2. Bereich des Abflussmaximums:

Die kurze Beobachtungszeit bei gleichzeitig hohen Variationskoeffizienten laesst es hier wenig sinnvoll erscheinen, die Rangfolge der abflussreichsten Monate als Typisierungskriterium zu verwenden. Selbst die Anwendung des Prinzips von Doppelmonaten ist nicht unproblematisch. Ob beispielsweise APR/MAI oder MAI/JUN vorliegt, wird schliesslich durch die Rangfolge der Monate April bis Juni festgelegt; diese Rangfolge ist aber nach dem oben Diskutierten unter Umstaenden nicht zuverlaessig bestimmbar. Es scheint uns nuetzlich, fuer die Typisierung eine Masszahl zu verwenden, die den ganzen Bereich des Abflussmaximums erfasst. Bei den zumeist realisierten maximalen Doppelmonaten MAI/JUN und APR/MAI und bei Fehlen von

MRZ/APR, schlagen wir einen Nivalitaetskoeffizienten (NK) vor, der nach Formel (3.1) berechnet wird:

$$(3.1) \quad NK = \frac{AK(Mai) + AK(Jun)}{AK(Apr) + AK(Mai)}; \quad \begin{array}{l} NK: \text{Nivalitaetskoeffizient} \\ AK: \text{Abflusskoeffizient} \end{array}$$

Tabelle 8 zeigt, wie sich die Einzugsgebiete je nach Höhenlage im Nivalitaetskoeffizienten unterscheiden.

Tabelle 8. Nivalitaetskoeffizienten von Einzugsgebieten verschiedener Höhenlage (300-600 m, 600-1200 m, 1200-1800 m, 1800-2300 m)

| 1800-2300 | NK | 1200-1800 | NK | 600-1200 | NK | 300-600 | NK |
|-------------------|---------------|-----------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| POSC7083 | 1.82 | RIR06683 | 1.34 | BREG6683 | 0.83 | FAL06980 | 0.96 |
| MOES1028 | 1.88 | VERZ3067 | 1.32 | CASS6383 | 0.99 | LAVE6383 | 0.99 |
| CALA5262 | 1.81 | VEDI6183 | 1.04 | VEDB6172 | 1.02 | | |
| RICA6783 | 1.79 | TRAV6683 | 1.12 | | | | |
| MAGB2953 | 1.59 | | | | | | |
| BAV02953 | 1.72 | | | | | | |
| Streu- bereich | 1.59- 1.88 | | 1.04- 1.34 | | 0.83- 1.02 | | 0.96- 0.99 |

NK Nivalitaetskoeffizient gemäss Formel (3.1)

Lässt man die Einzugsgebiete unter 600 m mittlerer Höhe weg, die mit ihren ausgeglichenen Regimes rein pluvial beeinflusst sind, so zeigen sich zwischen den verschiedenen Höhenstufen deutliche Unterschiede im Nivalitaetskoeffizienten. Der Koeffizient erweist sich als trennscharf, sodass er als Typisierungskriterium verwendet werden kann. Dabei werden nicht nur die Einzugsgebiete unter 1800 m mittlerer Höhe, sondern auch die mit einem andern Typisierungsansatz klassierten Einzugsgebiete bis 2300 m mittlerer Höhe richtig differenziert.

3. Bereich des Abflussminimums:

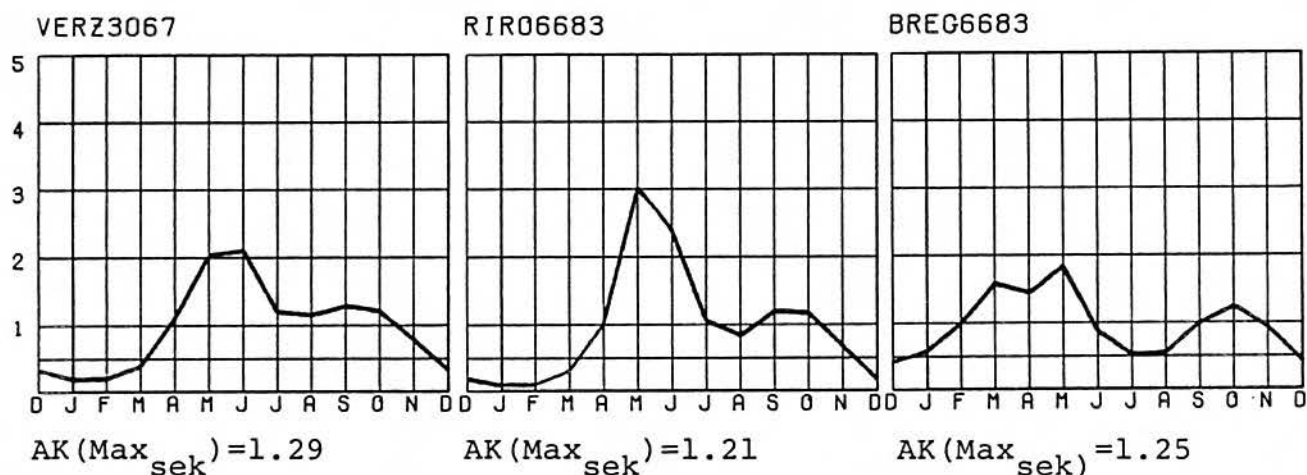
Wie bereits erwähnt, treten im südalpinen Raum keine Sommerminima des Abflusses auf. Der Bereich des Abflussminimums in den Monaten Dezember bis Februar ist zuwenig differenziert, als dass sich daraus allgemein gültige Typisierungskriterien ableiten liessen. Auf das Abflussminimum als Bestandteil der Typisierung des südalpinen Regimes muss deshalb verzichtet werden.

4. Sekundäres Abflussmaximum:

Das sekundäre Maximum hat im Jahresgang des Abflusses, verglichen mit den nordalpinen Regimes, ein bedeutend grösseres Gewicht. Für Einzugsgebiete über 1800 m mittlerer Höhe sind in Tabelle 15 auf S. 50 einige Vergleichswerte zusammengestellt. Für die tiefer gelegenen Einzugsgebiete ergeben sich für die Abflussfracht September-November Werte in der gleichen Grössenordnung:

| | | | | | |
|------------|-------------|------|-----------|-------------|------|
| nordalpin: | 1200-1600 m | 18 % | südalpin: | 1200-1800 m | 27 % |
| | 700-1200 m | 19 % | | 900-1200 m | 30 % |

Es stellt sich die Frage, ob sich aus dem Auftreten (Zeitpunkt und Ausmass) des sekundären Abflussmaximums weitere Typisierungskriterien herleiten lassen.



Figur 15. Sekundaeres Abflussmaximum bei ausgewaehlten Einzugsgebieten

| | | |
|----------|---------------------------|---------|
| VERZ3067 | Verzasca, Corippo | 1930-67 |
| RIR06683 | R. di Roggiasca, Roveredo | 1966-83 |
| BREG6683 | Breggia, Chiasso | 1966-83 |

Figur 15 zeigt die Problematik des sekundaeren Maximums auf: Alle Ganglinien zeichnen sich durch ein sekundaeres Abflussmaximum im September oder Oktober aus. Rein optisch erscheint es bei der Breggia am ausgepraegtesten. Die angefuehrten Abflusskoeffizienten belegen jedoch, dass alle sekundaeren Maxima diesselbe Groessenordnung (1.2-1.3) besitzen. Ob ein sekundaeres Maximum stark oder schwach in Erscheinung tritt, wird offenbar einzig vom Grad der Austrocknung der Sommermonate Juli und August bestimmt. Dies wiederum haengt mit den Speichereigenschaften der Einzugsgebiete zusammen und ist nicht mehr primaer hoehenabhaengig. Dass sich bei Einzugsgebieten ueber rund 2000 m mittlerer Hoehe das sekundaere Maximum nicht mehr ausbildet, ruehrt daher, dass immer noch Schmelzwasser aus Gletschern oder hoch gelegenen Schneefeldern zur Verfuegung steht, das die sommerliche "Austrocknung" verhindert. In den herbstlichen Abflusskoeffizienten bestehen sonst keine grossen Unterschiede.

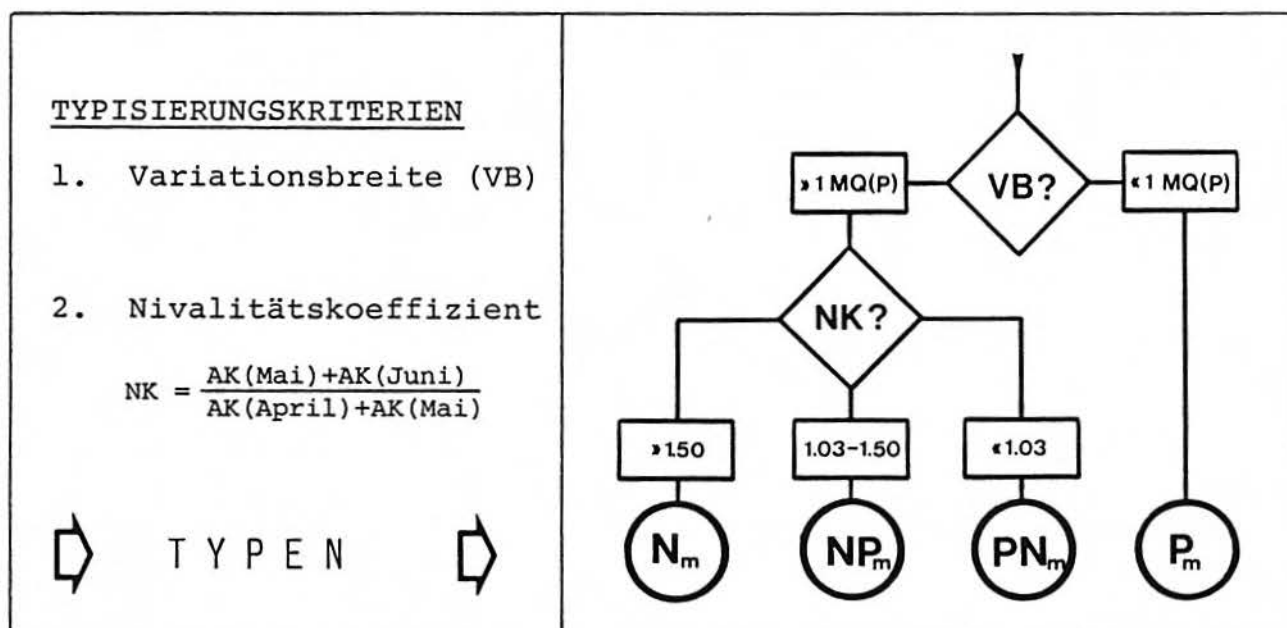
Eine Typisierung des sekundaeren Abflussmaximums muesste somit ueber die Juli- und Augustabfluesse erfolgen. Die Interpretation und vor allem die raeumliche Festlegung der Sommerabfluesse ist aber nicht ohne detaillierte Einzugsgebietsanalyse moeglich.

Gegen die Verwendung des sekundaeren Abflussmaximums als Typisierungskriterium sprechen auch die Einwaeende von Kap. "S 2.3.2. Die Variationen der Monatskoeffizienten". Mediankurve und Mittelwertskurve unterscheiden sich gerade im Bereich der Herbstmonate deutlich, was darauf hinweist, dass einzelne Hochwasser die Mittelwertskurve einseitig verfaelschen. Um ueber das sekundaere Abflussmaximum verlaessliche Aussagen machen zu koennen, muessten sehr lange Beobachtungszeiten abgewartet werden.

===> Die Betrachtung ausgewaahlter Abflusskomponenten fuehrt zu zwei einfachen Typisierungskriterien, die es gestatten, das Abflussverhalten der suedalpinen Einzugsgebiete ausreichend zu differenzieren:

1. Variationsbreite des Regimes
2. Nivalitaetskoeffizient

Die hierarchische Anwendung der beiden Typisierungskriterien gemaess dem Entscheidungsbaum (vgl. Figur 16) fuehrt zu folgenden Abflussregimes:



Figur 16. Entscheidungsbaum fuer die Typisierung des mittleren Abflussverhaltens der suedalpinen Einzugsgebiete unterhalb 2300 m mittlerer Hoehe und mit arealer Vergletscherung bis zu 6 %:

Nm 'régime nival méridional'

NPm 'régime nivo-pluvial méridional'

PNm 'régime pluvio-nival méridional'

Pm 'régime pluvial méridional'

1. Variationsbreite des Abflussregimes ≥ 1 MQ(Periode):

- a. Nivalitätskoeffizient > 1.50
==> 'régime nival méridional'
- b. Nivalitätskoeffizient $1.03-1.50$
==> 'régime nivo-pluvial méridional'
- c. Nivalitätskoeffizient < 1.03
==> 'régime pluvio-nival méridional'

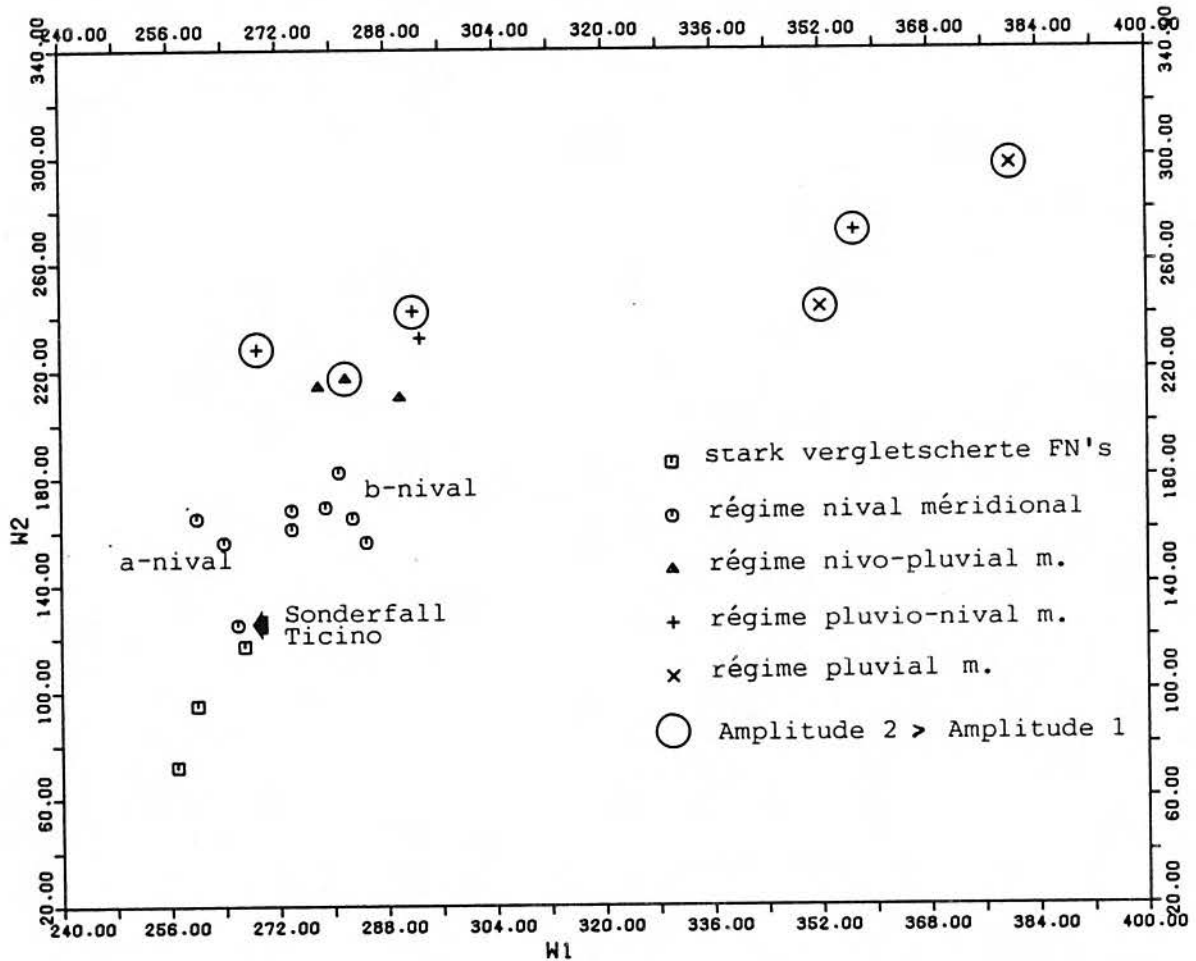
2. Variationsbreite des Abflussregimes < 1 MQ(Periode)

==> 'régime pluvial méridional'

Mit den beiden Typisierungskriterien wird das Wesentliche des Abflussverhaltens, das zu einer Differenzierung innerhalb der suedalpinen Einzugsgebiete beitraegt, erfasst. Auf weitere Typisierungskriterien kann verzichtet werden. Die Abflussregimetypen werden im Detail im naechsten Kapitel vorgestellt.

Methodisch interessant scheint uns in diesem Zusammenhang die Moeglichkeiten, welche die FOURIER-Analyse zu einer ersten Grundtypisierung bietet (zur FOURIER-Analyse s. Teil II Kap. M 5.2.): Aus dem Vergleich der Amplituden der ersten und zweiten harmonischen Komponente laesst sich die Information gewinnen, ob eher:

- ein halbjährlicher Rhythmus mit zwei mehr oder weniger gleichwertigen Maxima (Amplitude $a_2 \geq$ Amplitude a_1) oder
- ein jährlicher Rhythmus mit einem ausgeprägteren Hauptmaximum vorliegt ($a_1 \gg a_2$).



Figur 17. Bedeutung der FOURIER-Analyse fuer die Grundtypisierung von Abflussregimes: dargestellt am Beispiel der suedalpinen Stichprobe; eingezeichnet sind der erste und zweite Phasenwinkel (W1, W2).

Es ist nun moeglich, ueber die beiden Phasenwinkel der ersten und zweiten harmonischen Komponente (W1, W2), die oben gewonnenen Gruppen weiter zu differenzieren, da die beiden Phasenwinkel im wesentlichen die Lage der Maxima beschreiben.

Die Guete dieses Ansatzes haengt natuerlich vom Grad der Approximation der urspruenglichen Werte durch die zwei harmonischen Komponenten ab: Bei den suedalpinen Regimes beispielsweise kann mit den beiden ersten Komponenten in den hoeher gelegenen Gebieten ueber 90 % der Gesamtvarianz erklart werden und die Erklaerungsanteile in den tieferen Lagen (< 1800 m mittlerer Einzugsgebietshoehe) liegen meist noch ueber 80 %.

In Figur 17 sind die Phasenwinkel W1 und W2 der typisierten repräsentativen Stationen in einem Diagramm eingezeichnet. Die in der Typisierung festgestellten Regimetypen koennen in dieser Figur als Punkteschwaerme z.T. sehr gut, z.T. unter Vorbehalten identifiziert werden:

- Einmal heben sich die Stationen, bei denen ungefaehr zwei gleichwertige Maxima vorliegen deutlich ab und es lassen sich innerhalb dieser Gruppe zwei Untergruppen erkennen (4 und 5), wobei die Fehlklassifikationen einige Unsicherheiten verursachen.
- Die Regimes jener Stationen, bei denen $a_1 > a_2$ ist, koennen ueber die Phasenwinkel gut getrennt werden und auch die mehr als 6 % vergletscherten Einzugsgebiete (1) heben sich klar ab. Deutlich zeigt sich auch der in Kap. S 4 beschriebene Sonderfall Ticino-Piotta und es bestehen auch schon gewisse Hinweise in bezug auf die beiden Gruppen innerhalb des 'régime nival méridional'.

Dieses Beispiel zeigt, dass sich mittels der FOURIER-Analyse ein erstes grobes Gesamtbild erarbeiten laesst, das den Einstieg in die "Details" wesentlich erleichtert.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Suedalpine Einzugsgebiete mit mehr als 6 % arealer Vergletscherung und mittleren Hoeihen ueber 2300 m verhalten sich bezueglich der Abflussregimes wie entsprechende alpine Einzugsgebiete. Bei Einzugsgebieten zwischen 1800 und 2300 m mittlerer Einzugsgebietshoehe besteht zwar aus der Sicht der maximalen Monatsabfluesse noch eine Verwandtschaft zu den alpinen Einzugsgebieten, der bedeutend groessere pluviale Einfluss im Herbst und die spezifischen Probleme bei der raeumlichen Einordnung dieser Gebiete sprechen aber fuer einen eigenstaendigen Regimetyp, dem 'régime nival méridional'. Die mehrgipfligen Regimes, welche meist unter 1800 m mittlerer Einzugsgebietshoehe auftreten, sind nicht nach dem im Mittelland/Jura verwendeten Ansatz typisierbar. Aufgrund des Nivalitaetskoeffizienten und der Variationsbreite des Regimes lassen sich folgende Regimetypen erkennen:

- 'régime nivo-pluvial méridional'
- 'régime pluvio-nival méridional'
- 'régime pluvial méridional'

S 4. DIE SUEDALPINEN REGIMETYPEN

S 4.1. DAS 'REGIME NIVAL MERIDIONAL'

Das 'régime nival méridional' setzt sich aus zwei Gruppen zusammen: Die a-nivale Gruppe umfasst die Einzugsgebiete

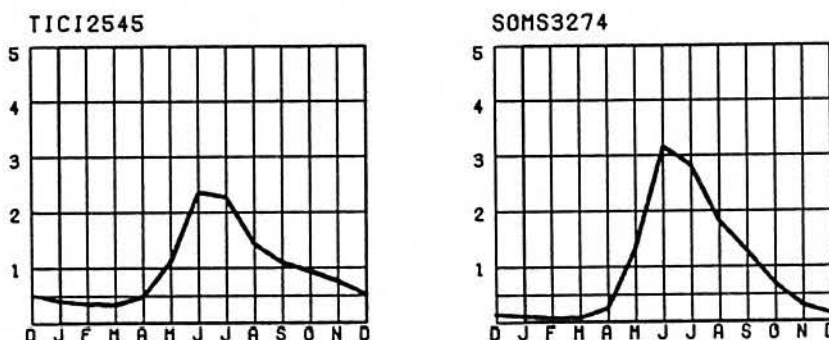
- Ticino-Piotta (TICI2545)
- Brenno-Campra (BREC2030)
- Bavona-Bignasco (BAVO2953)
- Brenno-Olivone (BRE02130)
- (Brenno-Ponte Semina (BRES4755))

Ihre mittleren Regimekurven weisen im Bereich der groessten Abfluesse die Rangfolge

JUNI - JULI - MAI

auf. An vierter Stelle steht, je nach dem ob im September ein sekundares Maximum auftritt, der Monat August oder September (s. Tabelle 10).

Der Brenno teilt sich in Olivone in den Brenno des Valle Santa Maria und in denjenigen des Valle Camadra. Die Station Brenno-Olivone umfasst beide Teileinzugsgebiete; die Station Brenno-Campra ist im Brenno-Olivone demnach enthalten. Da das Einzugsgebiet Brenno-Campra stark verkarstet ist (s. unten), verfälscht es die Abfluesse der Station Olivone insofern, als diese nicht direkt fuer das unverkarstete Teileinzugsgebiet des Valle Camadra repraesentativ sind (zur Geologie s. WITSCHI 1957). Mit der Pegelstation Ponte Semina laesst sich das Teileinzugsgebiet des Valle Camadra erfassen: die neunjaehrige Messreihe hat bereits eine sehr hohe Aussagekraft. Leider stehen nur die langjaehrigen Mittel zur Verfuegung.



Figur 18. Abflussregime des Ticino-Piotta im Vergleich zu einem alpinen glazionalen Abflussregime (Somvixer Rhein, Alp Sutgatscher).

Der Ticino bildet eine Ausnahme: Die Rangfolge Juni - Juli - August deutet eigentlich auf ein glazialeres Regime. Dazu sind aber das Abflussmaximum zu klein und die winterlichen Minimalabfluesse zu hoch (s. Figur 18). Die mittlere Hoehe und die areale Vergletscherung des Ticino lassen diesen Sachverhalt - aufgrund der alpinen Erfahrungswerte - ebenfalls als wenig plausibel erscheinen. Die "glazialeren" Verhaeltnisse koennen mit dem relativ hohen Anteil nordexponierter Haenge und hoch gelegener Gebiete erklart werden (s. Tabelle 9). Der Ticino muss deshalb als Sonderfall betrachtet werden.

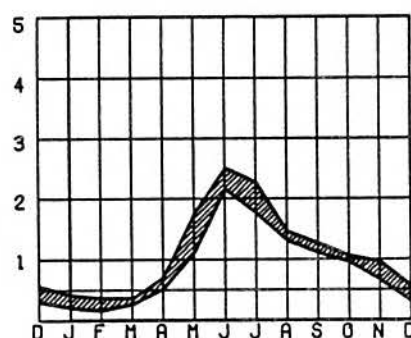
Tabelle 9. Flaechenanteil (%) der Gebiete > 2400 m in den Einzugsgebieten der a-nivalen Gruppe

| Station | mittlere Hoehe | % > 2400 m |
|-----------|----------------|------------|
| Ticino | 2060 m | 27 |
| Bavona | 1950 m | 23 |
| Brenno-0. | 2051 m | 22 |
| Brenno-C. | 2050 m | 10 |

Tabelle 10. Statistische Kennwerte der a-nivalen Gruppe des 'régime nival méridional'

| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.20-0.40 | 19-28 % |
| FEB | 0.15-0.35 | 18-24 % |
| MRZ | 0.25-0.35 | 19-33 % |
| APR | 0.50-0.70 | 12-35 % |
| MAI | 1.10-1.75 | 24-34 % |
| JUN | 2.15-2.50 | 13-19 % |
| JUL | 1.75-2.25 | 15-27 % |
| AUG | 1.30-1.45 | 20-27 % |
| SEP | 1.10-1.25 | 18-40 % |
| OKT | 0.95-1.05 | 28-60 % |
| NOV | 0.65-0.95 | 38-54 % |
| DEZ | 0.30-0.55 | 19-27 % |

(OHNE BREC)

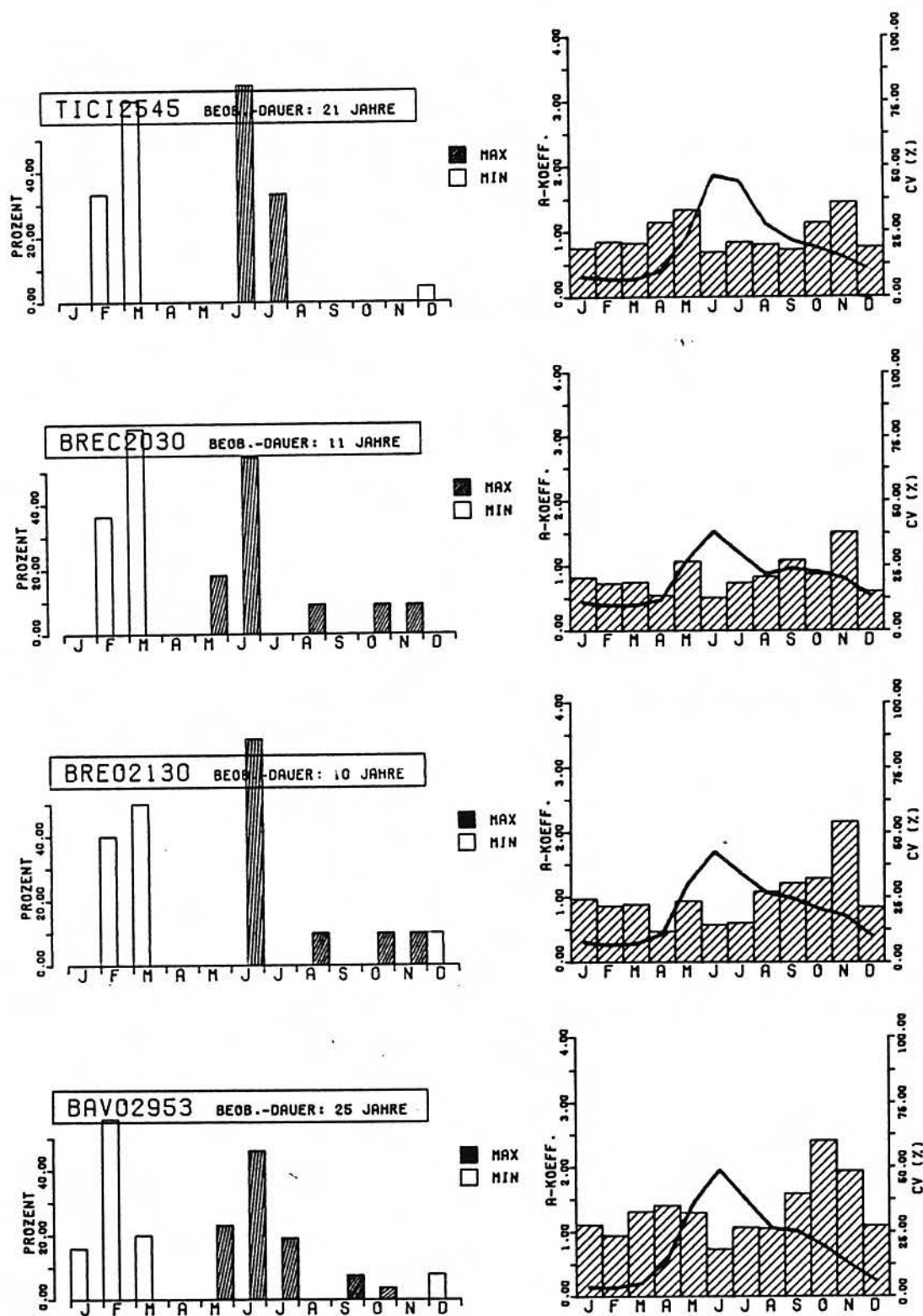


a-nival

| STAO/PER | RANG | maxK | minK | DIFF | maxD | minD | DEQUER | VAR | q | AH |
|----------|------|------|------|------|------|------|--------|-----|-----|------|
| TICI2545 | Spez | 2.36 | 0.34 | 2.02 | 2.75 | 1.33 | 2.12 | 24 | 62 | 23.1 |
| BAV02953 | 1A,- | 2.50 | 0.17 | 2.33 | 3.24 | 1.85 | 2.48 | 33 | 54 | 23.7 |
| BREC2030 | 1S,- | 1.95 | 0.48 | 1.47 | 1.83 | 1.04 | 1.52 | 21 | 62* | 28.2 |
| BRE02130 | 1A,m | 2.16 | 0.33 | 1.83 | 2.23 | 1.58 | 1.92 | 25 | 59 | 26.6 |
| BRES4755 | 1A - | 2.77 | 0.24 | 2.53 | - | - | - | - | 56 | 20.3 |

| | |
|----------|---|
| RANG | Rangfolge und Auftreten des sekundären Maximums (m) Spez: Sonderfall Tessin, Juni - Juli - August 1A: Juni - Juli - Mai - August 1S: Juni - Juli - Mai - September |
| STAO/PER | Repräsentative Station und Beobachtungszeitraum |
| MH | Mittlere Einzugsgebietshöhe in m |
| maxK | Abflusskoeffizient des Maximums der mittleren Regimekurve |
| minK | Abflusskoeffizient des Minimums der mittleren Regimekurve |
| DIFF | Variationsbreite der mittleren Regimekurve |
| maxD | maximale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres |
| minD | minimale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres |
| DEQUER | mittlere Abflusskoeffizienten-Differenz der Einzeljahre |
| VAR | mittlerer Variationskoeffizient der Monate Jan-Dez in % |
| q | mittlerer spezifischer Abfluss des Beobachtungszeitraumes in l/sec*km ² |
| * | nach Abzug der Fremdwasserzutritte von ca. 8 l/sec*km ² |
| AH | prozentualer Anteil der Monate September-November an der Jahresabflussfracht |

Innerhalb der a-nivalen Gruppe faellt weiter der Brenno-Campra in Tabelle 10 durch aussergewöhnliche Werte auf. So sind beispielsweise die mittleren langjaehrigen sowie die mittleren, maximalen und minimalen einzeljaehrlichen Schwankungsbreiten verhaeltnismaessig klein, obwohl wegen der im Vergleich zu den anderen Gebieten eher kleinen Einzugsgebietsflaeche hoehere Werte erwartet wuerden. Fuer dieses "Retentionsregime" ist der Karst des Lukmaniers zu verantworten, dessen hydrologische Bedeutung BINGGELI(1961) eingehend beschrieben hat (u.a. auch Fremdwasserzutritte, s. Tabelle 10).



Figur 19. Mittlere Regimekurven, Kurven der Variationskoeffizienten und Häufigkeitsverteilungen maximaler und minimaler Monatsabflüsse der repräsentativen Stationen der a-nivalen Gruppe des 'régime nival méridional'

Die b-nivale Gruppe wird durch folgende Einzugsgebiete beschrieben:

- im Einzugsgebiet der Maggia:
 - Maggia-Brontallo (MAGB2953)
 - Riale di Calneggio-Caverio (RICA6783)
- im Einzugsgebiet der Moesa:
 - Moesa-San Giacomo (MOES1728)
 - Calancasca-Buseno (CALA5262)
- im Puschlav:
 - Poschiavino-La Roesa (POSC7083)
- im Einzugsgebiet des Toce:
 - Krumbach-Klusmatten (KRUM5280)

Sie ist also in der Stichprobe sehr gut vertreten. Bei der Moesa-San Giacomo, fuer welche Daten von 1917-1928 vorliegen, haben wir nur die mittlere Regimekurve betrachtet, da die Messungen erst ab 1920 kontinuierlich erfolgten. In der Rangfolge der maximalen mittleren Monatsabfluesse bleibt der Monat Juni im Vergleich zur a-nivalen Gruppe immer noch Traeger der groessten Abfluesse; an zweiter Stelle loesen sich nun aber Mai und Juli ab. Die Rangfolge lautet demnach:

JUNI - MAI - JULI

Das Regime wird also nivaler. Diese Unterschiede gelangen tendenziell auch in der Haeufigkeitsverteilung zum Ausdruck (Figur 19 und Figur 20): Der Monat Juni ist bei beiden Gruppen unbestrittener Traeger des Hauptmaximums, je nach Einzugsgebiet in 45 bis 80 % der Faelle. In dieser Hinsicht sind sich beide Gruppen recht aehnlich. Die weiteren Realisierungen der b-nivalen Gruppe tendieren dann allerdings mehr zum Monat Mai, jene der a-nivalen Gruppe eher zum Monat Juli.

Im Minimalbereich sind aus der Sicht der Haeufigkeitsverteilung nur unwesentliche Unterschiede zwischen den beiden Gruppen feststellbar. Minimale Monatsabfluesse sind vor allem im Februar und Maerz und bereits weniger haeufig im Januar zu erwarten.

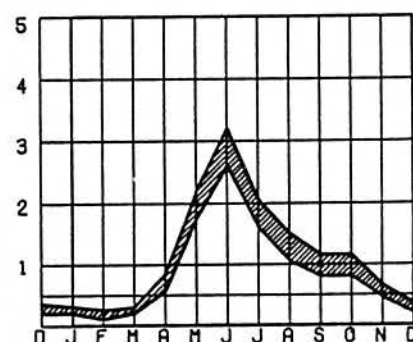
Die langjaehrigen und einzeljaehrlichen Schwankungsbreiten ergeben kein schlussiges Bild ueber Unterschiede zwischen den beiden Gruppen, da in der a-nivalen Gruppe in diesem Zusammenhang nur gerade die Bavona und allenfalls noch der Brenno-Ponte Semina direkt vergleichbare Daten liefern.

Bei den Variationen der Abflusskoeffizienten zeigt sich im Jahresgang ein fuer beide Gruppen des 'régime nival méridional' recht typischer Verlauf mit einem Maximum im Herbst (Oktober oder November), einem sekundaeren Maximum im April und mit Minima im Bereich der groessten und der kleinsten Monatsabfluesse (s. Figur 19 und Figur 20). Das sekundaere Maximum der Variationen steht im Zusammenhang mit der zeitlichen Variabilitaet des Beginns der Schneeschmelze, waehrend das Hauptmaximum auf die herbstlichen Niederschlaege zurueckzufuehren ist.

Aus der Sicht des Abflussmaximums laesst sich also das 'régime nival méridional' in zwei Gruppen gliedern. Diese Gliederung ist im Herbst, wo die pluviale Abflusssteuerung vorherrscht, nicht zu erkennen. So koennen bei beiden Gruppen sekundaere Maxima auftreten oder eben auch nicht auftreten. Wir messen aber

Tabelle 11. Statistische Kennwerte der b-nivalen Gruppe des 'régime nival méridional'. Die Calancasca weist in den Wintermonaten Januar bis Maerz bedeutend grössere Variationen auf als die restlichen Stationen dieser Gruppe. Sie sind deshalb speziell ausgewiesen.

| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|----------------|
| JAN | 0.20-0.30 | 24-31 % (46 %) |
| FEB | 0.10-0.25 | 21-29 % (36 %) |
| MRZ | 0.20-0.30 | 27-38 % (54 %) |
| APR | 0.55-0.85 | 34-48 % |
| MAI | 1.75-2.20 | 22-35 % |
| JUN | 2.60-3.20 | 20-34 % |
| JUL | 1.60-2.05 | 19-44 % |
| AUG | 1.05-1.50 | 22-51 % |
| SEP | 0.80-1.15 | 43-60 % |
| OKT | 0.80-1.15 | 56-74 % |
| NOV | 0.45-0.65 | 36-67 % |
| DEZ | 0.20-0.35 | 25-38 % |



b-nival

| STAO/PER | RANG | maxK | minK | DIFF | maxD | minD | DEQUER | VAR | q | AH |
|----------|------|------|------|------|------|------|--------|-----|----|------|
| RIC6783 | 2S,m | 2.81 | 0.12 | 2.69 | 3.75 | 2.20 | 2.89 | 43 | 58 | 22.5 |
| MAGB2953 | 2S,m | 2.60 | 0.18 | 2.42 | 3.66 | 2.02 | 2.73 | 38 | 53 | 23.6 |
| MOES1728 | 2A,- | 2.58 | 0.15 | 2.43 | - | - | - | - | - | 23.4 |
| CALA5262 | 2A,m | 2.69 | 0.18 | 2.51 | 4.14 | 1.94 | 2.88 | 41 | 51 | 23.8 |
| POSC7083 | 2A,- | 2.79 | 0.26 | 2.53 | 3.38 | 1.95 | 2.69 | 32 | 41 | 20.4 |
| KRUM5280 | 2A,- | 3.21 | 0.18 | 3.03 | 4.86 | 1.91 | 3.07 | 33 | 41 | 16.8 |

RANG Rangfolge und Auftreten des sekundären Maximums (m)

2A: Juni - Mai - Juli - August

2S: Juni - Mai - Juli - September

STAO/PER Repräsentative Station und Beobachtungszeitraum

MH Mittlere Einzugsgebietshöhe in m

maxK Abflusskoeffizient des Maximums der mittleren Regimekurve

minK Abflusskoeffizient des Minimums der mittleren Regimekurve

DIFF Variationsbreite der mittleren Regimekurve

maxD maximale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres

minD minimale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres

DEQUER mittlere Abflusskoeffizienten-Differenz der Einzeljahre

VAR mittlerer Variationskoeffizient der Monate Jan-Dez in %

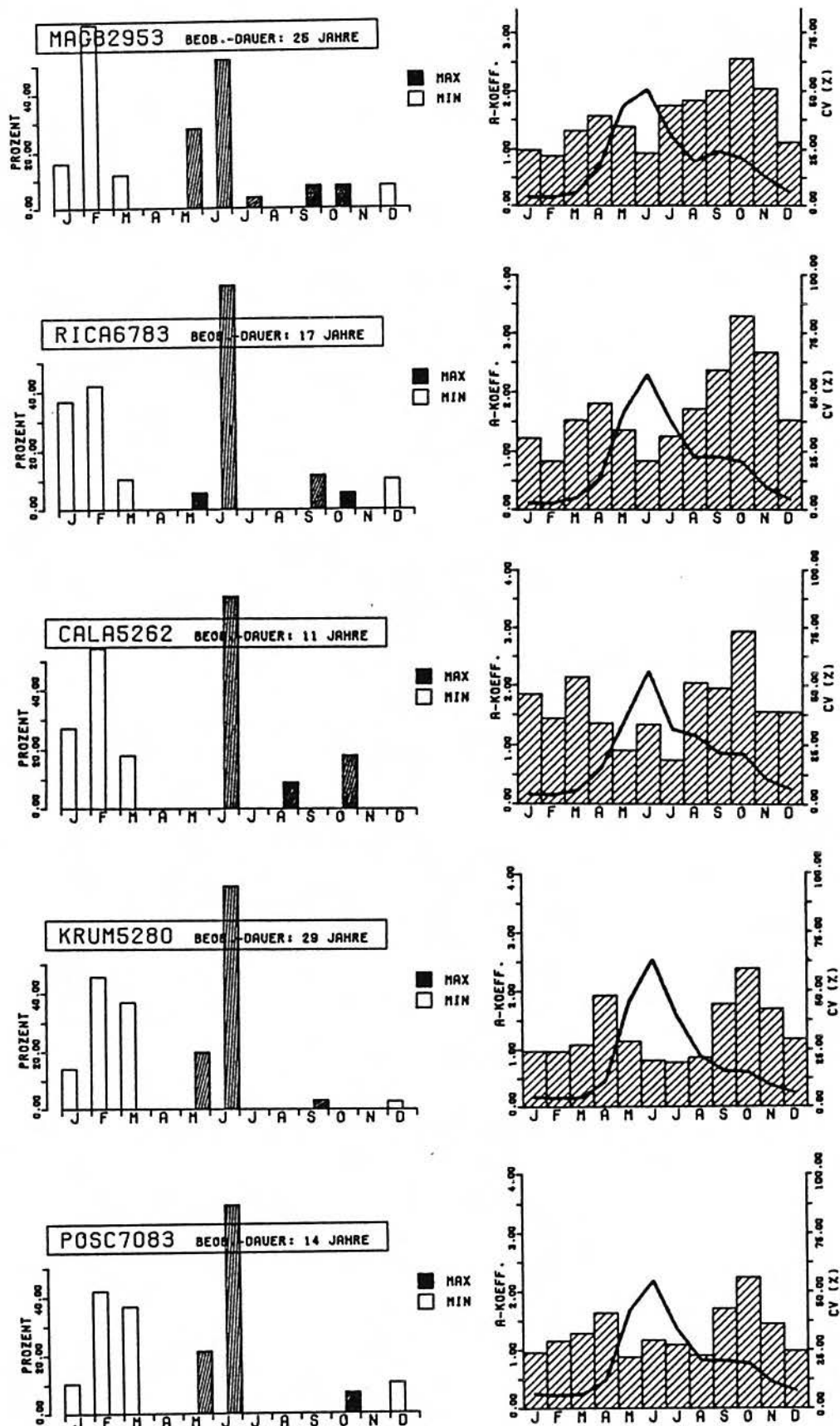
q mittlerer spezifischer Abfluss des Beobachtungszeitraumes in l/sec*km²

AH prozentualer Anteil der Monate September-November an der Jahresabflussfracht

dem sekundären Maximum, wie bereits an anderer Stelle erwähnt wurde, keine allzu grosse Bedeutung zu, zumal es wenig ausgeprägt und datenmaessig mit Unsicherheiten belastet ist. Entscheidender scheint uns, dass bei beiden Gruppen im Einzeljahr sogar die Herbstmonate Träger des Hauptmaximums werden und dass zwischen September und November im Mittel mehr als 20 % der gesamten Jahresmenge abfliessen. Die entsprechenden alpinen Typen bringen es nur auf Werte unter 20 % (vgl. Tabelle 15 auf S. S-50). Einzig der Krumbach ist in dieser Beziehung alpin (16 %). Die Niederschlagskarten der Herbstmonate (Periode 1931-70) im KLIMAATLAS DER SCHWEIZ (Tafel 10.4) lassen aber erkennen, dass das Einzugsgebiet des Krumbachs bedeutend weniger Niederschlag erhält (30 bis 60 mm/Monat) als die uebrigen suedalpinen Gebiete.

Die Niederschlagskarten verdeutlichen auch, dass die hoeheren Lagen des Tessins vor allem im September und Oktober mengenmaessig sehr einheitlich beregnet werden (langjaehrige Mittel).

Das Puschlav nimmt in bezug auf die herbstlichen Niederschlaege eine Mittelstellung zwischen dem Krumbach und den uebrigen Einzugsgebieten ein: Der Prozentanteil der herbstlichen Abfluesse am Gesamtabfluss liegt gerade bei 20 %.



Figur 20. Mittlere Regimekurven, Kurven der Variationskoeffizienten und Häufigkeitsverteilungen maximaler und minimaler Monatsabflüsse der repräsentativen Stationen der b-nivalen Gruppe des 'régime nival méridional'

Bezuglich der herbstlichen Abfluesse, aber auch bezueglich der winterlichen Abflussverhaeltnisse ist das 'régime nival méridional' einheitlicher als im Bereich maximaler Abfluesse.

Allgemeine raeumliche Einordnung: Wir stossen beim 'régime nival méridional' auf das Phaenomen, dass sich aus der Sicht des Maximalbereichs der Regimes zwar gut abgrenzbare Gruppen erkennen lassen, dass diese Gruppen aber raeumlich nicht trennbar sind, zumal sie sich hinsichtlich der Vergletscherung (0-6 %) und der mittleren Einzugsgebietshoehe (1800 - 2300 m) sehr aehnlich sind. Dies kann nur damit erklart werden, dass lokale und regionale Besonderheiten (Karst, Anteil der Expositionen bzw. Hauptentwaesserungsrichtung) eine entscheidende Rolle spielen (vgl. "S 5. RAEUMLICHE UEBERTRAGUNG" auf S. S-49).

S 4.2. DER UEBERGANGSBEREICH ZWISCHEN NIVALEN UND PLUVIALEN REGIMES

Der Uebergangsbereich zwischen den nivalen und den pluvialen Regimes wird durch zwei Regimetypen abgedeckt, die einander aehnlich sind. Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal liegt im Bereich des Abflussmaximums und wird mit dem Nivalitaetskoeffizienten (NK) erfasst:

1. $1.03 \leq NK \leq 1.50 \implies$ 'régime nivo-pluvial méridional'
2. $0.83 \leq NK < 1.03 \implies$ 'régime pluvio-nival méridional'

Die beiden Regimetypen werden im folgenden gesondert betrachtet.

S 4.2.1. Das 'régime nivo-pluvial méridional'

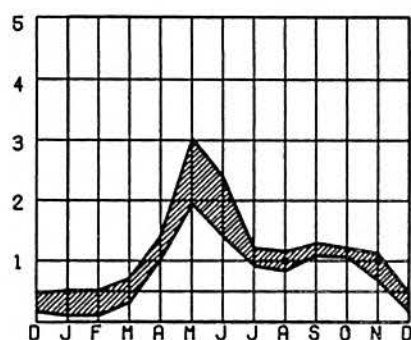
In der Abfolge der suedalpinen Regimetypen schliesst sich 'régime nivo-pluvial méridional' hoehenmaessig an das 'régime nival méridional' an. Es ist gekennzeichnet durch eine Variationsbreite des Regimes, die das langjaehrige Jahresmittel ueberschreitet. Der maximale Doppelmonat ist MAI/JUN. Daraus resultieren Nivalitaetskoeffizienten von 1.03-1.50. Gegenueber dem 'régime nival méridional' ist der pluviale Einfluss groesser geworden: der mittlere Abfluss im Herbst betraegt 26.7 % der Jahresfracht ('régime nival méridional': 21.8 %). Durch die staerkere Austrocknung im Juli und August erscheint das sekundaere Abflussmaximum nun auch optisch ausgepraegter.

Tabelle 12 vermittelt eine Zusammenstellung der Abflusskoeffizienten und ihrer Variationen sowie einiger wichtiger typspezifischer Kennzahlen, die aufgrund der repraesentativen Stationen ermittelt wurden. Infolge der kleinen Stichprobe wird bewusst auf eine Mittelwertsbildung verzichtet.

Mittleres Abflussregime: Das Abflussmaximum faellt auf den Monat Mai, selten auf den Juni. Die dazugehoerenden Abflusskoeffizienten schwanken um den Wert 2, wobei aber auch - wie beim Riale di Roggiasca - Abflusskoeffizienten bis 3 auftreten koennen. Das Abflussminimum tritt immer in den Monaten Januar und Februar auf und betraegt 0.10-0.50 MQ(Periode). Die Niedrigwasserperiode dauert zwei Monate. Die relative Austrocknung im Juli und August aeussert sich in Koeffizienten von 0.85-1.15. Das nachfolgende sekundaere Abflussmaximum im September oder Oktober liegt in der Groessenordnung von 1.05-1.30. Die Differenz zum Hauptmaximum betraegt im Mittel 0.75-0.95, kann aber im Extremfall bis 1.8 ansteigen.

Tabelle 12. Statistische Kennwerte des 'régime nivo-pluvial méridional'

| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.10-0.52 | 39-49 % |
| FEB | 0.10-0.52 | 33-45 % |
| MRZ | 0.31-0.72 | 48-75 % |
| APR | 1.02-1.41 | 38-41 % |
| MAI | 1.94-3.02 | 26-36 % |
| JUN | 1.39-2.38 | 32-42 % |
| JUL | 0.91-1.20 | 40-59 % |
| AUG | 0.83-1.15 | 38-63 % |
| SEP | 1.08-1.29 | 71-75 % |
| OKT | 1.06-1.20 | 63-92 % |
| NOV | 0.67-1.12 | 43-73 % |
| DEZ | 0.17-0.47 | 41-47 % |



| STAO/PER | MH | maxK | minK | DIFF | maxD | minD | DQ | maxS | D12 | VAR | q | NK | AH |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| RIR06683 | 1711 | 3.02 | 0.10 | 2.92 | 4.72 | 2.30 | 3.31 | 1.21 | 1.81 | 53.3 | 75.4 | 1.34 | 25.5 |
| TRAV6683 | 1280 | 1.94 | 0.52 | 1.42 | -- | -- | -- | 1.14 | 0.80 | -- | 42.0 | 1.12 | 27.8 |
| VEDI6183 | 1450 | 2.09 | 0.33 | 1.76 | 3.47 | 1.40 | 2.21 | 1.17 | 0.93 | 46.1 | 53.1 | 1.04 | 26.2 |
| VERZ3067 | 1680 | 2.11 | 0.19 | 1.92 | 4.64 | 1.87 | 2.71 | 1.29 | 0.77 | 52.3 | 59.5 | 1.32 | 27.3 |

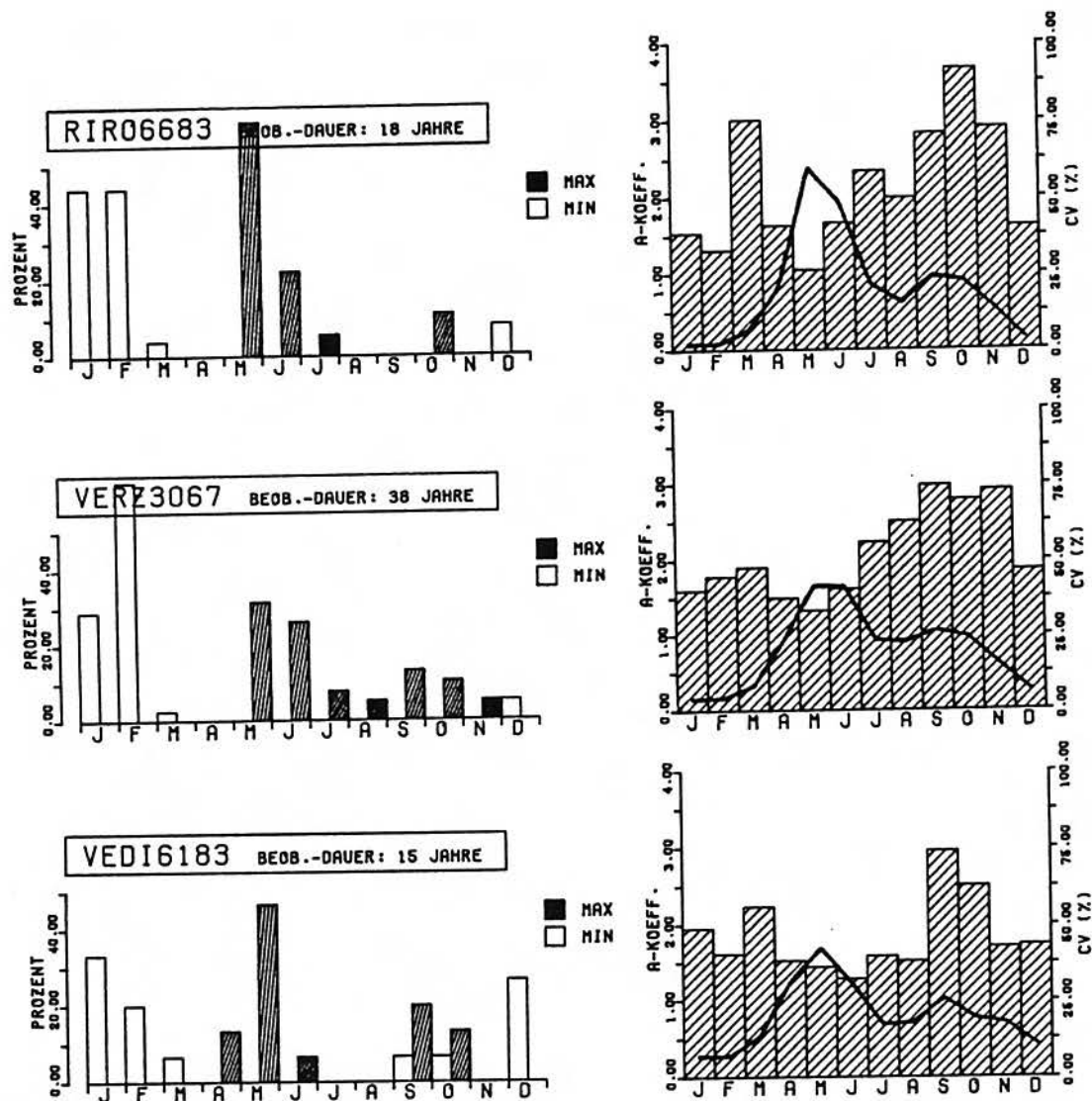
| | |
|----------|--|
| STAO/PER | Repraesentative Station und Beobachtungszeitraum |
| MH | Mittlere Einzugsgebietshoehe in m ueM |
| maxK | Abflusskoeffizient des Maximums der mittleren Regimekurve |
| minK | Abflusskoeffizient des Minimums der mittleren Regimekurve |
| DIFF | Variationsbreite der mittleren Regimekurve |
| maxD | maximale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres |
| minD | minimale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres |
| DQ | mittlere Abflusskoeffizienten-Differenz der Einzeljahre |
| maxS | Abflusskoeffizient des sekundaeren Maximums |
| D12 | Differenz Haupt- und Sekundaermaximum des langjaehrigen Mittels |
| VAR | mittlerer Variationskoeffizient der Monate Jan-Dez in % |
| q | mittlerer spezifischer Abfluss des Beobachtungszeitraumes in l/sec*km ² |
| NK | Nivalitaetskoeffizient gemaess Formel (3.1) |
| AH | prozentualer Anteil der Monate September-November an der Jahresabflussfracht |

Der Jahresgang der Variationskoeffizienten zeigt im Zeitpunkt des Abflussmaximums im Monat Mai oder Juni ein Minimum (26-33 %). Die Variationskoeffizienten im sekundaeren Abflussmaximum im Herbst sind mit 63-91 % sehr gross. Da allerdings die Voraussetzung der Normalverteilung nur schlecht erfuellt ist, koennen diese Werte nicht weiter interpretiert werden. Die mittleren Variationen (gemittelt ueber die 12 Monate) betragen je nach Flussgebiet 46-54 %.

Die Deltawerte gestatten u.a. den Vergleich zwischen den Einzeljahren und dem Periodenmittel:

- Der mittlere Deltawert der Einzeljahre (DQ) liegt generell um ca. 0.5 Einheiten hoeher als der Deltawert der Periode (DIFF). Somit weisen die Einzeljahre im Mittel eine groessere Variationsbreite der Abfluesse auf, als es in der Mittelwertskurve zum Ausdruck kommt. Die Differenz ist nicht sehr gross, sodass die Mittelwertskurve in dieser Hinsicht noch als repraesentativ auch fuer die Einzeljahre gelten darf.
- Auch in Jahren mit minimalen Deltawerten unterscheiden sich Maximal- und Minimalabfluss um deutlich mehr als 1 MQ(Jahr): minD --> 1.40-2.30. Sie zeigen auch dann noch einen ausgepraegten Jahresgang.
- In Jahren mit extrem unterschiedlicher Wasserfuehrung steigen die mittleren Deltawerte von 2.2-3.3 (DQ) auf 3.5-4.7 an (maxD). Die Spannweite der monatlichen Abfluesse umfasst dann mehrere Jahresabfluesse.

Die Haeufigkeitsverteilung des Eintretens des Abflussmaximums (vgl. Figur 21) widerspiegelt sehr genau den Verlauf der Regimekurve im Bereich des Abfluss-



Figur 21. Mittlere Regimekurven, Kurve der Variationskoeffizienten und Häufigkeitsverteilungen maximaler und minimaler Monatsabflüsse der repräsentativen Stationen des 'régime nivo-pluvial méridional'

maximums: beim Riale di Roggiasca dominiert der Mai, während bei der Verzasca Mai und Juni ausgeglichen sind. Neben der Dominanz von MAI/JUN oder APR/MAI (58-83 % aller Maxima der Einzeljahre) fällt das Abflussmaximum vereinzelt auf die Monate August bis September. Das Abflussminimum ist auch im Einzeljahr vorwiegend an die Monate Januar und Februar gebunden. Interessanterweise sind beim Vedeggio in den Monaten September und Oktober im Einzeljahr sowohl Abflussmaximum als auch -minimum möglich. Dies ist ein Hinweis darauf, wie variabel die abflusssteuernden Niederschläge im suedalpinen Raum sind.

Allgemeine räumliche Einordnung: Das 'régime nivo-pluvial méridional' tritt zwischen 1200 und 1800 m mittlerer Einzugsgebietshöhe auf. Zusammen mit dem 'régime pluvio-nival méridional' bildet es den Übergangsbereich zwischen den nivalen und den pluvialen Abflussregimes des suedalpinen Raumes.

S 4.2.2. Das 'régime pluvio-nival méridional'

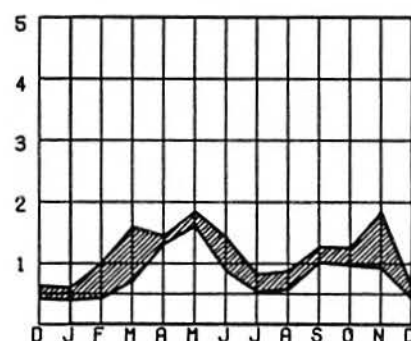
Der Beschreibung dieses und des folgenden Regimetyps muss vorausgeschickt werden, dass das 'régime pluvio-nival méridional' nur gerade durch drei Einzugsgebiete (Breggia, Casserate und Veduggio), das 'régime pluvial méridional' sogar nur durch zwei Einzugsgebiete (Faloppia und Laveggio) in der Stichprobe der suedalpinen Regimes vertreten sind. Die unten aufgeführten statistischen Kennwerte geben bestenfalls den groben Rahmen der effektiven Bandbreiten dieser Regimetypen an.

Beim 'régime pluvio-nival méridional' vollzieht sich beim maximalen Doppelmonat der Uebergang vom MAI/JUN zu APR/MAI. Der Nivalitätskoeffizient schwankt zwischen 0.83-1.03. Gegenueber dem 'régime nivo-pluvial méridional' verstaerkt sich das pluviale Herbstmaximum nur geringfuegig: die herbstliche Abflussfracht vergroessert sich im Mittel von 26.7 % auf 29.8 %. Gleichzeitig nimmt die sommerliche Austrocknung (Juli, August) weiter zu, sodass das herbstliche sekundaere Abflussmaximum beim 'régime pluvio-nival méridional' trotz gleichbleibendem Abflusskoeffizienten viel ausgepraegter erscheint.

Die wichtigsten Kenngrößen zu diesem Regimetyp sind in Tabelle 13 zusammengestellt.

Tabelle 13. Statistische Kennwerte des 'régime pluvio-nival méridional'

| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.39-0.59 | 39-75 % |
| FEB | 0.42-1.00 | 32-86 % |
| MRZ | 0.70-1.59 | 49-59 % |
| APR | 1.31-1.44 | 42-55 % |
| MAI | 1.60-1.84 | 40-53 % |
| JUN | 0.87-1.42 | 41-83 % |
| JUL | 0.52-0.81 | 45-99 % |
| AUG | 0.56-0.87 | 40-99 % |
| SEP | 1.01-1.27 | 66-99 % |
| OKT | 0.97-1.25 | 80-99 % |
| NOV | 0.92-1.83 | 56-94 % |
| DEZ | 0.42-0.62 | 37-59 % |



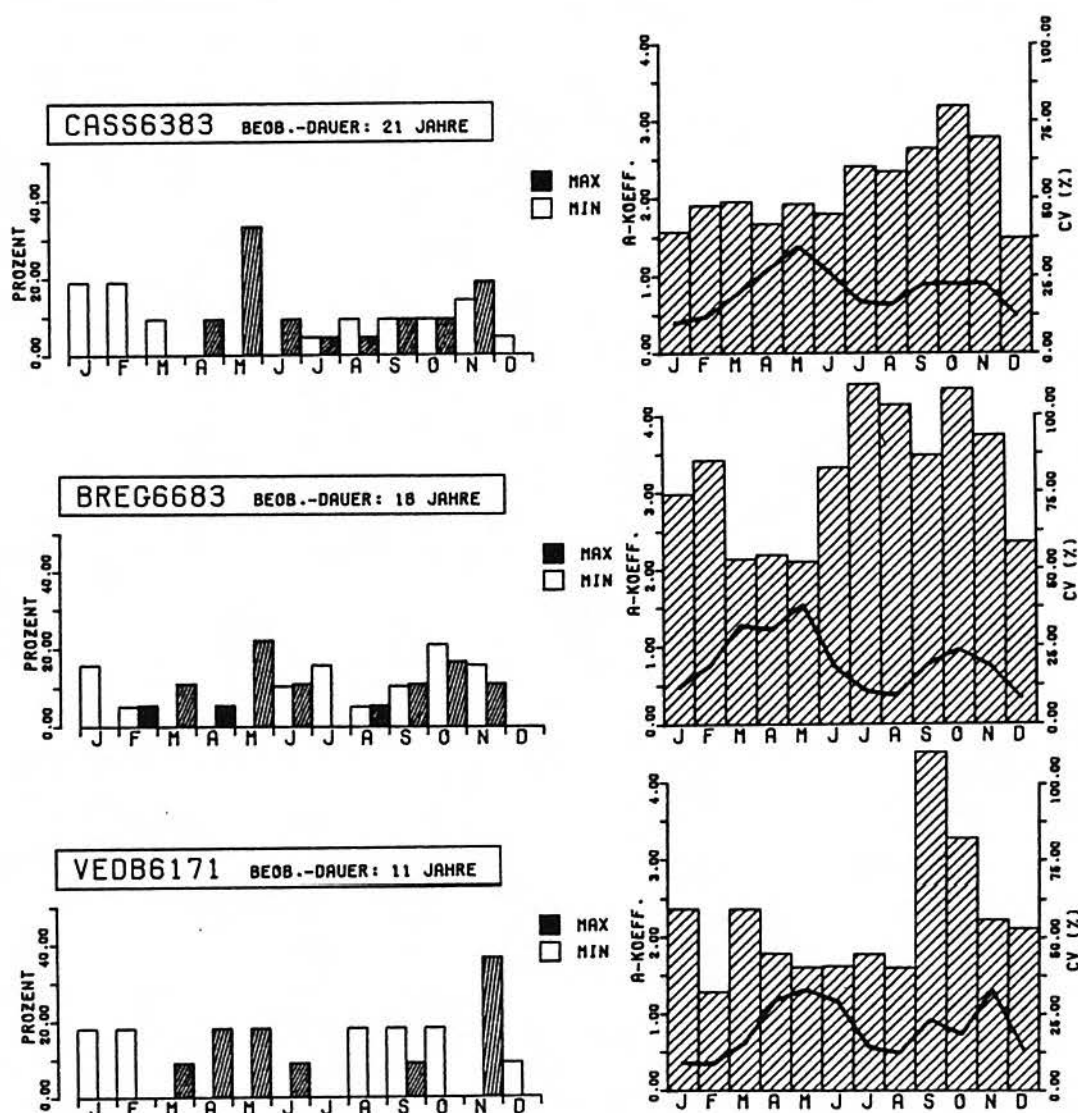
| STAO/PER | MH | maxK | minK | DIFF | maxD | minD | DQ | maxS | D12 | VAR | q | NK | AH |
|----------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| BREG6683 | 927 | 1.84 | 0.42 | 1.42 | 4.79 | 1.73 | 2.71 | 1.25 | 0.59 | 80.6 | 27.7 | 0.83 | 26.5 |
| CASS6383 | 990 | 1.69 | 0.45 | 1.24 | 3.90 | 1.22 | 2.13 | 1.19 | 0.51 | 53.7 | 35.9 | 0.99 | 29.0 |
| VEDB6171 | 945 | 1.83 | 0.40 | 1.43 | 4.43 | 1.55 | 2.36 | 1.83 | 0.22 | 55.3 | 36.1 | 1.02 | 33.9 |

| | |
|----------|--|
| STAO/PER | Repräsentative Station und Beobachtungszeitraum |
| MH | Mittlere Einzugsgebietshöhe in m ueM |
| maxK | Abflusskoeffizient des Maximums der mittleren Regimekurve |
| minK | Abflusskoeffizient des Minimums der mittleren Regimekurve |
| DIFF | Variationsbreite der mittleren Regimekurve |
| maxD | maximale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres |
| minD | minimale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres |
| DQ | mittlere Abflusskoeffizienten-Differenz der Einzeljahre |
| maxS | Abflusskoeffizient des sekundaeren Maximums |
| D12 | Differenz Haupt- und Sekundaermaximum des langjaehrigen Mittels |
| VAR | mittlerer Variationskoeffizient der Monate Jan-Dez in % |
| q | mittlerer spezifischer Abfluss des Beobachtungszeitraumes in l/sec*km ² |
| NK | Nivalitätskoeffizient gemäss Formel (3.1) |
| AH | prozentualer Anteil der Monate September-November an der Jahresabflussfracht |

Mittlere Regimekurve: Wie beim 'régime nivo-pluvial méridional' tritt das Abflussmaximum im Mai auf; mit maximalen Koeffizienten von 1.60-1.85 ist es aber schwächer ausgeprägt. Die deutlich höheren Aprilkoeffizienten weisen gegenüber dem 'régime nivo-pluvial méridional' auf ein früheres Einsetzen der

Schmelzprozesse im Fruehjahr hin. Das Abflussminimum tritt uneinheitlich in den Monaten Dezember bis Februar ein und schwankt um 0.5 MQ(Periode). Das sekundaere Abflussmaximum im Herbst mit Koeffizienten zwischen 1.2-1.3 erscheint wegen der staerkeren Austrocknung im Juli und August (AK: 0.5-0.9) relativ ausgepraegt. Die mittleren Differenzen Hauptmaximum-Sekundaermaximum betragen nur 0.5-0.6 Einheiten. Einen Spezialfall stellt der Vedeggio-Bioggio dar: in den Jahren 1961-1971 traten dreimal im November so hohe Monatsabfluesse ein, dass das sekundaere Maximum im Mittel der Jahre das Hauptmaximum uebertrifft. Eine Analyse der Daten laesst aber vermuten, dass sich der Vedeggio bei laengerer Beobachtungszeit wie die Casserate oder die Breggia verhaelt.

Die Variationskoeffizienten zeigen den typischen Verlauf, wie er bei suedalpinen Einzugsgebieten anzutreffen ist: ein Minimum im Bereich maximaler Abfluesse (40-55 %) und sehr hoehe Variationskoeffizienten im Herbst. Die mittleren Werte betragen je nach Flussgebiet 54-81 %.



Figur 22. Mittlere Regimekurve, Kurve der Variationskoeffizienten und Haeufigkeitsverteilungen maximaler und minimaler Monatsabfluesse der repraesentativen Stationen des 'régime pluvio-nival méridional'.

Im Gegensatz zum 'régime nivo-pluvial méridional' besteht zwischen den Abflussganglinien von Einzeljahren und dem Periodenmittel ein groesserer Unterschied. Die Differenz zwischen dem Deltawert der Periode (DIFF) und dem

mittleren Deltawert der Einzeljahre (DQ) betraegt zwischen 0.9-1.3 MQ(Jahr). Der Jahresgang der Einzeljahre weist eine um diesen Betrag groessere Variationsbreite auf. Diese kommt in der Mittelwertskurve nicht zum Ausdruck. Einzeljahre mit minimalen Deltawerten liegen in der Groessenordnung der Variationsbreite der Mittelwertskurve. Im Extremfall sind Variationsbreiten zwischen 3.9-4.8 MQ(Jahr) moeglich. Die Mittelwertsbildung fuehrt durch Glaettung zu einer mittleren Abflussganglinie, die die Verhaeltnisse im Einzeljahr nicht mehr befriedigend zu beschreiben vermag.

Haeufigkeitsverteilung: Aus Figur 22 ist ersichtlich, dass die Verteilung der Abflussmaxima im Einzeljahr ausgeglichen ist. Es sind nicht mehr einzelne Monate, die dominieren, sondern das Abflussmaximum kann im Einzeljahr ausser in den Wintermonaten Dezember bis Februar in jedem Monat auftreten. Es ist im Einzeljahr noch haeufig auf den Mai konzentriert, doch die Monate Maerz und April gewinnen an Bedeutung. In den Herbstmonaten ist eine leichte Haeufung beim Oktober und November festzustellen. Auf den Sonderfall Vadeggio-Bioggio sind wir oben eingetreten.

Fuer das Abflussminimum bietet sich ein aehnliches Bild. Ausser im April und Mai, wo im langjaehrigen Mittel das Abflussmaximum auftritt, kann das Abflussminimum in jedem beliebigen Monat auftreten. Interessanterweise halten sich die Haeufigkeiten von Maximum und Minimum auch bei den einzelnen Monate die Waage: das Auftreten von Maximum und Minimum des Abflusses ist gleich wahrscheinlich. Der Grund dazu muss in der Niederschlagsstruktur liegen. Wie aus Figur 23 entnommen werden kann, sind im fraglichen Gebiet (suedlich Monte Ceneri) die Anzahl der Gewittertage ausserordentlich hoch (mehr als 45 pro Jahr). Schwere Gewitter sind zwar andernorts haeufiger, doch i. allg. weniger intensiv als in der Suedschweiz (bis ueber 200 mm/Tag). Bleiben die Gewitter aus, so herrschen wegen der eher als gering einzuschaetzenden Speichereigenschaften der Einzugsgebiete (hohe Reliefenergie, geologische Verhaeltnisse) Niedrigwasserverhaeltnisse. Dies bestaetigen auch die Datenanalysen: kleinen Abflusswerten stehen Extremwerte gegenueber; der Mittelwasserbereich fehlt weitgehend. Mit diesen Ueberlegungen laesst sich die Verteilung der Haeufigkeiten, insbesondere das Nebeneinander von Maximum und Minimum im gleichen Monat erklaren.

Allgemeine raeumliche Einordnung: Die repraesentativen Stationen dieses Regimetyps liegen alle zwischen 900 und 1000 m mittlerer Einzugsgebietshoehe. Wie in "S 5. RAEUMLICHE UEBERTRAGUNG" noch zu zeigen sein wird, darf das 'régime pluvio-nival méridional' zwischen 700 und 1200 m mittlerer Hoehe erwartet werden.

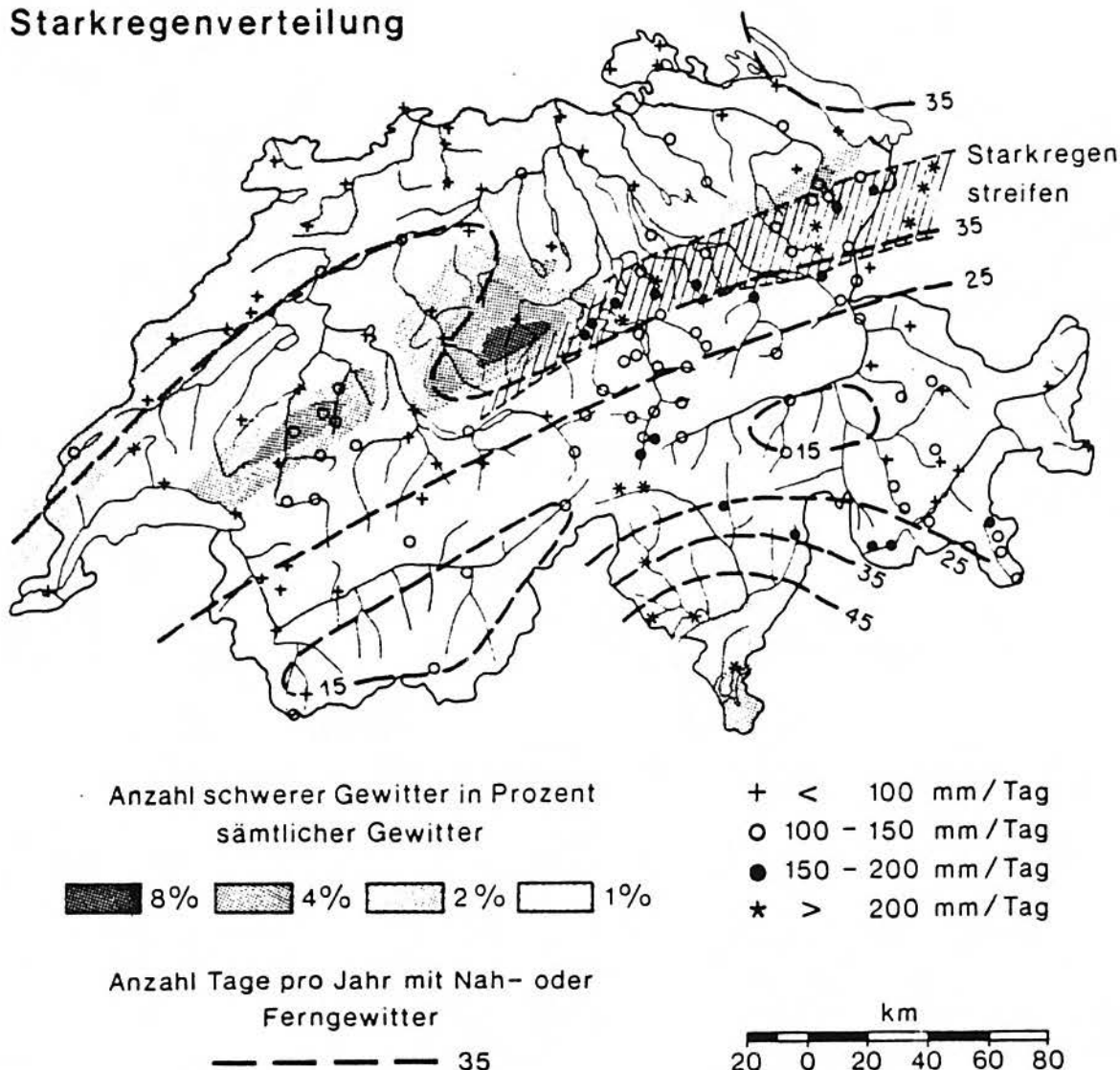
S 4.3. DAS 'REGIME PLUVIAL MERIDIONAL'

Wie bereits erwaeht, fehlt beim 'régime pluvial méridional' die Datengrundlage, um diesen Regimetyp abschliessend charakterisieren zu koennen. Im Falle des Laveggio-Mendrisio (Abflussstation des Kt. Tessin) waren zur Zeit ueberdies die Daten der Einzeljahre nicht verfuegbar, sodass die Beurteilung einzelner statistischer Kenngrößen nur sehr mangelhaft erfolgen kann.

Trotz der schmalen Datenbasis konnte das 'régime pluvial méridional' als eigenstaendiger Regimetyp ausgeschieden werden, da sich die Abflussganglinien mit ihren Variationsbreiten, die 1 MQ(Periode) nicht ueberschreiten, sehr deutlich von den andern Regimetypen abheben. Der wenig ausgepraegte Jahresgang der mittleren Regimekurve ist das Hauptmerkmal dieses Regimetyps.

In Tabelle 14 sind einige wichtige Kenngrößen der Faloppia und des Laveggio als Vertreter des 'régime pluvial méridional' zusammengestellt.

Starkregenverteilung



Figur 23. Starkregenverteilung in der Schweiz nach ZELLER(1974:21)

Der **mittlere Jahresgang** dieses Regimetyps ist sehr ausgeglichen. Fruehjahresmaximum und Herbstmaximum sind im Ausmass gleich. Das Hauptmaximum (AK: bis 1.3) umfasst die Monate Maerz bis Mai; das sekundaere Maximum faellt auf den Oktober oder den November. Die Austrocknung im Juli und August erreicht die Groessenordnung des Winterminimums des Abflusses (AK: 0.75-0.95).

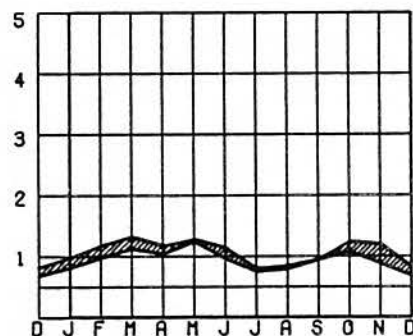
Der Jahresgang der **Variationskoeffizienten** gleicht demjenigen des 'régime pluvio-nival méridional': ein Minimum (27-40 %) im Bereich des Abflussmaximums, das Maximum (85 %) zum Zeitpunkt des sekundaeren Abflussmaximums im Oktober. Die mittleren Variationskoeffizienten liegen bei 45 %.

Wie bei den pluvialen Regimes der Alpennordseite taeuscht der mittlere Regimeverlauf eine Ausgeglichenheit des Abflussverhaltens vor (DIFF: 0.5-0.7 MQ[Periodel]). Die mittleren Variationsbreiten der Einzeljahre (DQ: 1.6) ueberbrennen aber die Variationsbreite des Periodenmittels um das Doppelte bis Dreifache. Die Mittelwertskurve besitzt keine Repraesentativitaet fuer das Einzeljahr.

Die **Haeufigkeitsverteilung** (vgl. Figur 24) zeigt, dass das Abflussmaximum im Einzeljahr beinahe in jedem Monat auftreten kann. Eine leichte Haeufung im

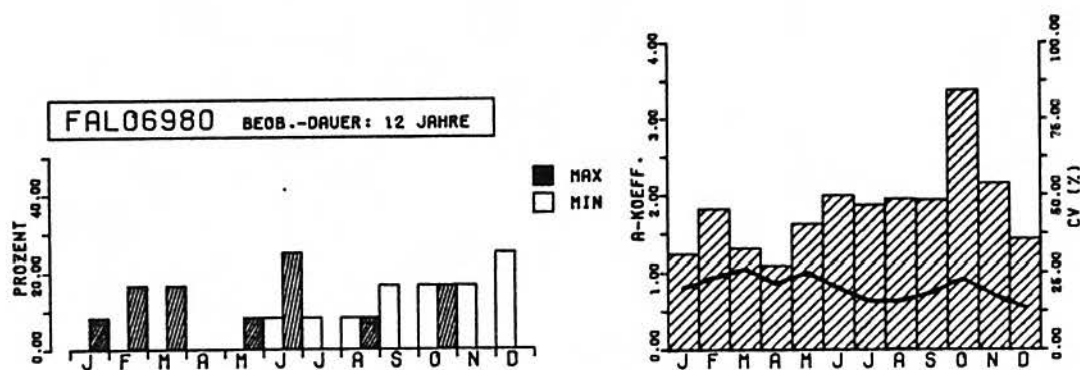
Tabelle 14. Statistische Kennwerte der Faloppia-Chiasso und des Laveggio-Mendrisio als typische Vertreter des 'régime pluvial méridional'.

| Monat | A-Koeff | V-Koeff |
|-------|-----------|---------|
| JAN | 0.80-0.97 | 31 % |
| FEB | 0.96-1.17 | 46 % |
| MRZ | 1.11-1.31 | 33 % |
| APR | 1.03-1.16 | 27 % |
| MAI | 1.23-1.27 | 41 % |
| JUN | 0.95-1.13 | 50 % |
| JUL | 0.74-0.79 | 47 % |
| AUG | 0.78-0.84 | 49 % |
| SEP | 0.93-0.94 | 49 % |
| OKT | 1.07-1.23 | 85 % |
| NOV | 0.87-1.19 | 54 % |
| DEZ | 0.67-0.81 | 36 % |



| STAO/PER | MH | maxK | minK | DIFF | maxD | minD | DQ | maxS | D12 | VAR | q | NK | AH |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|
| FAL06980 | 340 | 1.31 | 0.67 | 0.64 | 3.50 | 0.88 | 1.56 | 1.23 | 0.08 | 45.5 | 31.9 | -- | 25.3 |
| LAVE6383 | 4.40 | 1.27 | 0.79 | 0.48 | -- | -- | -- | 1.19 | 0.08 | -- | 42.4 | -- | 26.6 |

STAO/PER Repräsentative Station und Beobachtungszeitraum
 MH Mittlere Einzugsgebietshöhe in m_{ueM}
 maxK Abflusskoeffizient des Maximums der mittleren Regimekurve
 minK Abflusskoeffizient des Minimums der mittleren Regimekurve
 DIFF Variationsbreite der mittleren Regimekurve
 maxD maximale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres
 minD minimale Abflusskoeffizienten-Differenz eines Einzeljahres
 DQ mittlere Abflusskoeffizienten-Differenz der Einzeljahre
 maxS Abflusskoeffizient des sekundären Maximums
 D12 Differenz Haupt- und Sekundärmaximum des langjährigen Mittels
 VAR mittlerer Variationskoeffizient der Monate Jan-Dez in %
 q mittlerer spezifischer Abfluss des Beobachtungszeitraumes in l/sec*km²
 NK Nivalitätskoeffizient gemäss Formel (3.1)
 AH prozentualer Anteil der Monate September-November an der Jahresabflussfracht



Figur 24. Mittlere Regimekurve, Kurve der Variationskoeffizienten und Häufigkeitsverteilungen maximaler und minimaler Monatsabflüsse der Faloppia als typischem Vertreter des 'régime pluvial méridional'.

Monat Juni bleibt ohne Einfluss auf die mittlere Regimekurve. Die Abflussminima sind auf die zweite Jahreshälfte mit einem Schwerpunkt im Dezember konzentriert. Auch beim 'régime pluvial méridional' können Maxima und Minima im gleichen Monat auftreten. Eine Erklärung fuer dieses Phaenomen wurde in "S 4.2.2. Das 'régime pluvio-nival méridional' auf S. S-42 gegeben.

Allgemeine räumliche Einordnung: Die Vertreter dieses Regimetyps liegen alle im Sottoceneri unter 450 m mittlerer Einzugsgebietshöhe. Wie in "S 5. RAEUM-

LICHE UEBERTRAGUNG" auf S. S-49 gezeigt wird, darf das 'régime pluvial méridional' ganz allgemein bis 700 m mittlerer Hoehe erwartet werden.

S 5. RAEUMLICHE UEBERTRAGUNG

S 5.1. AUSGANGSLAGE

Aus klimatischen Ueberlegungen wurde bei der Grobgliederung der Schweiz nach Abflussregimes ein suedalpines Kollektiv ausgeschieden, das neben den tessinerischen Einzugsgebieten auch jene des Puschlavs, des Bergells und der Suedseite des Simplonpasses umfasst (s. Figur 1 Kap. A 2.4.).

Es konnte gezeigt werden, dass sich die hochgelegenen, staerker vergletscherten Einzugsgebiete in ihrem Abflussverhalten sehr eng an alpine Einzugsgebiete anlehnen. Die herbstlichen Niederschlaege (s. unten) wirken sich in dieser Hoehenlage nicht mehr aus; Gletscher- und Schneeschmelze bleiben Hauptsteuerfaktoren. Dies gilt fuer glaziale und glazionivale Regimes. Ihre raeumliche Festlegung muss ueber die alpinen Richtwerte der mittleren Hoehe und der Vergletscherung erfolgen, da infolge der sehr kleinen Stichprobe hier keine spezifisch suedalpinen Richtwerte ausgeschieden werden koennen. Wie an anderer Stelle erlaeutert wurde, erbringen die alpinen raeumlichen Richtwerte auch suedalpin zufriedenstellende Resultate.

Dazu muss allerdings auch erwaehnt werden, dass im Einzugsgebiet des Ticino als Folge der Kraftwerkbauten stark vergletscherte, natuerliche Einzugsgebiete nahezu fehlen (s. Figur 1).

S 5.2. DIE RAEUMLICHE EINORDNUNG DER SUEDALPINEN REGIMETYPEN

Unter ca. 2300 m mittlerer Hoehe und bei weniger als 6 % Vergletscherung lassen sich eigenstaendige suedalpine Regimetypen erkennen, die sich vor allem in den herbstlichen Abfluessen von den alpinen unterscheiden, wie Tabelle 15 verdeutlicht.

Die nivalen Regimes ('régime nival méridional') lassen sich zwischen 1800 und 2300 m mittlerer Einzugsgebietshoehe einordnen. Die Vergletscherungswerte liegen zwischen 0 und 6 %. Dieser Regimetyp vereinigt die suedalpinen Auspraegungen der alpinen Regimetypen 'nivoglazial' und 'nival'. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sich die pluviale Komponente bei den Herbstabfluessen schon deutlich bemerkbar macht - meist allerdings noch nicht als sekundaeres Maximum oder dann nur wenig ausgepraegt. Der naechsttiefer gelegene Typ, das 'regime nivo-pluvial meridional', weist nun bereits ein gut ausgebildetes sekundaeres Maximum auf, so dass die Untergrenze des 'régime nival méridional' von 1800 m mittlerer Einzugsgebietshoehe nicht nur in bezug auf die Schmelzprozesse bedeutsam ist: Die mittlere Hoehe von 1800 m kann als grober Richtwert fuer die Trennung ein- und mehrgipfliger Regimes angesehen werden (s. Teil I, Kap. A 2).

Wie in Kapitel "S 4. DIE SUEDALPINEN REGIMETYPEN" dargelegt wird, ergibt sich aus der Rangfolge der abflussreichsten Monate eine Gruppierung des Regimetyps:

1. a-nivale Gruppe: JUN-JUL-MAI
2. b-nivale Gruppe: JUN-MAI-JUL

Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal besteht also im Austausch der Rangplaetze der Monate Mai und Juli. Es duerfte erwartet werden, dass dieser Rangtausch mit der Hoehenlage und der Vergletscherung zu erklaren waere:

Tabelle 15. Vergleich von Abflussfrachten der Herbstmonate September bis November bei nord- und suedalpinen Regimes:

Im suedalpinen Raum kommt dem herbstlichen Abflussgeschehen eine grössere Bedeutung zu. Während in stärker vergletscherten Einzugsgebieten die Werte mehr oder weniger gleich gross sind, unterscheidet sich das suedalpine nivale Regime deutlich von den entsprechenden alpinen Abflussregimetypen.

| NORDALPEN | AF(%) | SUEDALPEN | AF(%) |
|----------------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| Glaziale Regimes im Mittel | 20.8 | Albigna, Alpe Albigna | 20.9 |
| A-glazionivale Regimes im Mittel | 19.3 | Maira, Vicosoprano | 23.2 |
| B-glazionivale Regimes im Mittel | 20.8 | Zwischenbergenbach, Im Faeh | 21.3 |
| Nivogaziale Regimes im Mittel | 19.5 | Brenno, Campra | 28.2 |
| | | Brenno, Olivone | 26.6 |
| | | Bavona, Bignasco | 23.7 |
| | | Ticino, Piotta | 23.1 |
| Nivale Regimes im Mittel | 17.2 | Poschiavino, La Roesa | 20.4 |
| | | Krummbach, Klusmatten | 16.8 |
| | | Calancasca, Buseno | 23.8 |
| | | Moesa, San Giacomo | 23.4 |
| | | Riale Calneggio, Caviggno | 22.5 |
| | | Maggia, Bignasco | 23.6 |

AF(%) Prozentanteil an der jährlichen Abflussfracht

- a) Eine hohe Vergletscherung bewirkt ein vergrössertes Wasserangebot in den Sommermonaten ==> a-nivale Gruppe;
- b) Eine tiefe Lage spricht für ein früheres Einsetzen der Schmelzprozesse ==> b-nivale Gruppe

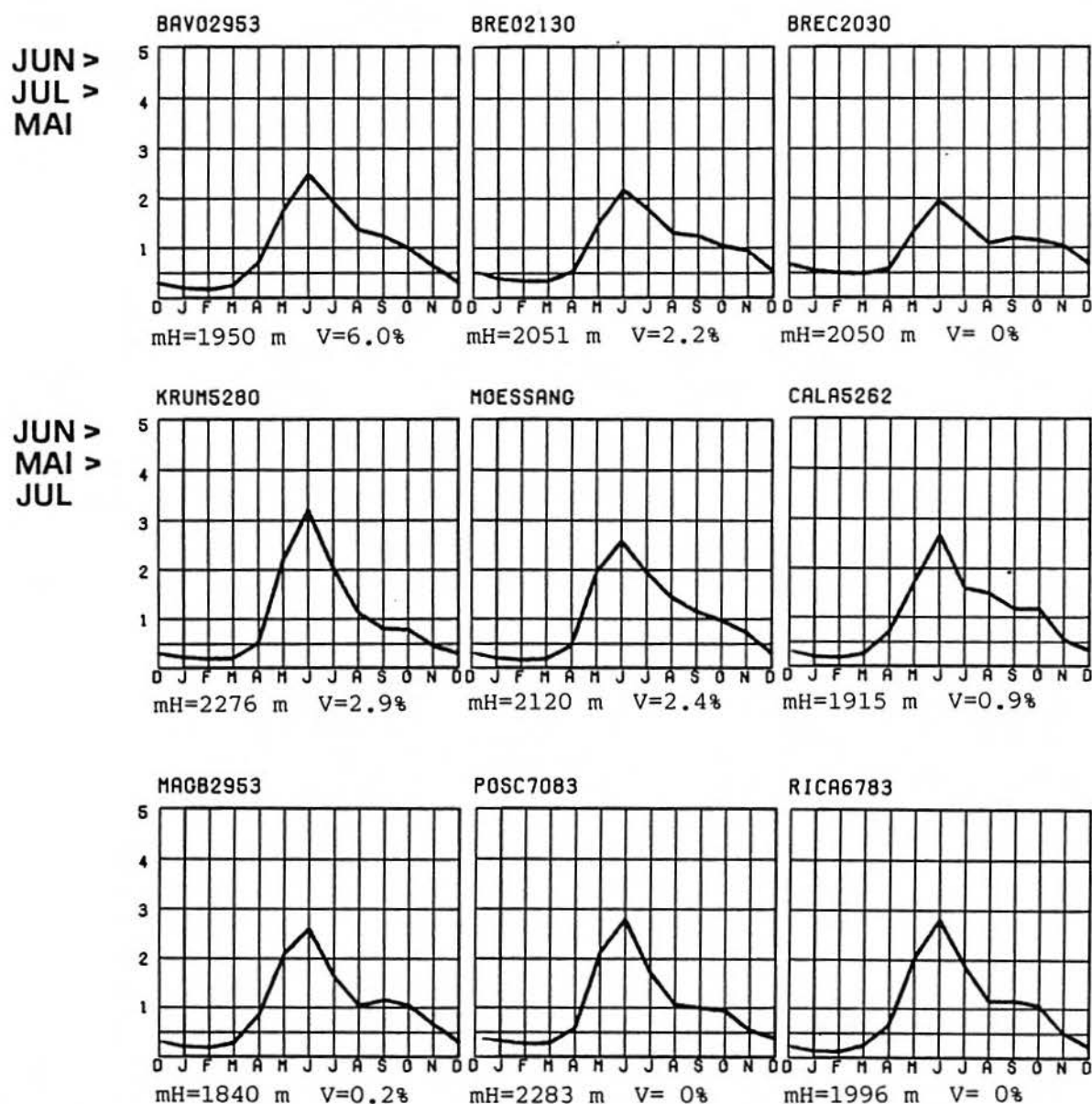
Tatsächlich bestätigt Figur 25 dieses generelle Bild, doch die Ausnahmen davon sind recht zahlreich:

- Krummbach (2276 m mittl. Einzugsgebietshöhe, 2.9 % Vergletscherung) und Moesa (2120 m, 2.4 %) weisen innerhalb dieses Regimetyps mittlere bis hohe Vergletscherungen und grosse mittlere Höhen auf. Sie gehören aber gemäss Kurvenverlauf zur b-nivalen Gruppe.
- Der Brenno-Campra (2050 m) hat trotz fehlender Vergletscherung die Rangfolge JUN-JUL-MAI. Allerdings wird es sich dabei um einen Retentionseffekt des verkarsteten Einzugsgebietes handeln (BINGGELI, 1961:115f.): Die anfallenden Schmelzwasser versickern vorerst, füllen den Karstwasserspeicher und gelangen verzögert zum Abfluss.

Diese Ausnahmen zeigen deutlich, dass die beiden Regimegruppen der suedalpinen nivalen Regimes räumlich nicht exakt festlegbar sind. Immerhin fällt auf, dass in gewissen Einzugsgebieten eine Gruppe bevorzugt auftritt:

- Moesa: Calancasca und Moesa-San Giacomo ==> b-nival;
- Maggia: Maggia-Brontallo und Riale di Calneggio ==> b-nival (aber: Bavona a-nival, höhere Vergletscherung);
- Brenno: Die Brenno-Stationen Campra, Olivone und Ponte Semina sind alle a-nival.

Das Ausnahmeregime des Ticino weist auch auf die Möglichkeit hin, dass bei besonderen räumlichen Verhältnissen der Maximalbereich der Abflüsse eine glazialere Abfolge aufweisen kann als man es aufgrund der Typzugehörigkeit erwarten würde (vgl. "S 4. DIE SUEALPINEN REGIMETYPEN").



Figur 25. Suedalpine nivale Abflussregimes: Abhaengigkeit der Mai- und Juliabflüsse von der mittleren Hoehe (mH) und der Vergletscherung (V).

Die tieferliegenden suedalpinen Regimetypen lassen sich ueber die mittlere Einzugsgebietshoehe raeumlich relativ einfach festlegen. Die Streubereiche der mittleren Hoehen der repraesentativen Einzugsgebiete der einzelnen Regimetypen ueberschneiden sich nicht und sind in Lagen unter 1200 m mittlere Hoehe recht klein:

- 'régime nivo-pluvial méridional'

- max.: Riale di Roggiasca, Roveredo 1711 m mittlere Hoehe
- min.: Traversagna, Arbedo 1280 m mittlere Hoehe

- 'régime pluvio-nival méridional'

- max.: Casserate, Pregassona 990 m mittlere Hoehe
- min.: Breggia, Chiasso 927 m mittlere Hoehe

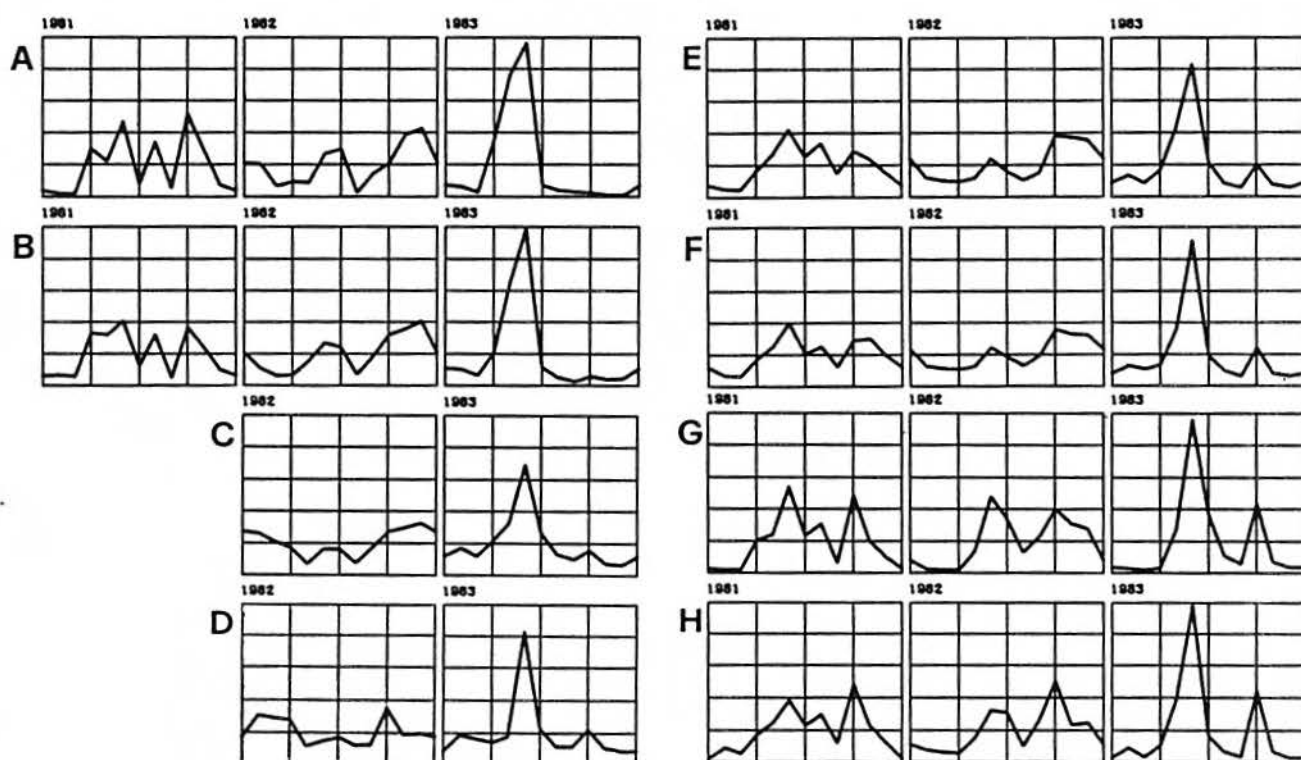
- 'régime pluvial méridional'

- max.: Laveggio, Mendrisio
- min.: Faloppia, Chiasso

440 m mittlere Höhe
340 m mittlere Höhe

Das Hauptproblem der räumlichen Festlegung besteht darin, die drei Regimetypen gegeneinander abzugrenzen. Wir haben an anderer Stelle gezeigt (vgl. Teil II, Kap. M 1.2.2.), dass Einzugsgebiete eines Regimetyps auch in Einzeljahren ein Abflussverhalten aufweisen, das sich von demjenigen anderer Regimetypen deutlich unterscheidet. Dies lässt sich für die räumliche Festlegung der Regimetypen nutzbar machen, indem Stationen mit kurzen Messreihen bezüglich ihrer Verwandtschaft zu einem der Regimetypen untersucht werden, und zwar auf der Basis von Einzeljahren. Im fraglichen Untersuchungsraum stehen in Ergänzung der repräsentativen Stationen noch folgende Messstationen und Messreihen zur Verfügung:

| | | | |
|------------------------------|-----------------|--------|---------|
| Canale di Bonifica, Riazzino | mittl. FN-Höhe: | 390 m | ab 1978 |
| Vecchio Vedeggio, Agno | | 551 m | ab 1981 |
| Scairolo, Figino | | 533 m | ab 1981 |
| Laveggio, Riva San Vitale | | 659 m | ab 1978 |
| Mara, Maroggia | | 781 m | ab 1980 |
| Vedeggio, Agno | | 948 m | ab 1979 |
| Riale di Gnosca, Gnosca | | 1241 m | ab 1979 |
| Salto, Maggia | | 1398 m | ab 1976 |
| Melera, Melera | | 1419 m | ab 1962 |
| Isorno, Russo | | 1590 m | 1950-53 |
| Riale d'Osola, Brione | | 1685 m | 1963-65 |
| Riale d'Agro, Lavertezzo | | 1703 m | 1963-65 |



Figur 26. Vergleich von ausgewählten Einzeljahren zur Bestimmung der Verwandtschaft zu einem Regimetyp.

- A Breggia, Chiasso
- B Mara, Maroggia
- C Scairolo, Figino
- D Vecchio Vedeggio, Agno

- E Casserate, Pregassona
- F Vedeggio, Agno
- G Riale d. Gnosca, Gnosca
- H Riale d. Roggiasca, Roveredo

Neben der Möglichkeit, den Grad der Verwandtschaft rechnerisch zu bestimmen (zB. Deviation nach SCHULTZ), kann die Bestimmung auch rein optisch erfolgen, wie ein paar Beispiele in Figur 26 belegen.

- Die Mara (781 m mittl. Hoehe) zeigt in den Jahren 1981-83 eine starke Aehnlichkeit mit der Breggia (927 m). Die Grundzuege dieses Abflussverhaltens finden sich auch beim Scairolo (533 m) und beim Vecchio Vedeggio (551 m), doch sind die Extreme gedaempft und die Regimekurven im Detail verschieden. Scairolo und Vecchio Vedeggio sind dem 'régime pluvial méridional', die Mara dem 'régime pluvio-nival méridional' zuzurechnen.
- Unschwer zu erkennen ist einerseits die sehr grosse Verwandtschaft des Vedeggio-Agno (948 m) zum repraesentativen Einzugsgebiet der Casserate (990 m) und andererseits des Riale di Gnosca (1241 m) zum repraesentativen Einzugsgebiet des Riale di Roggiasca (1711 m). Obwohl sich die mittleren Hoehen der beiden zusaetzlichen Stationen nur wenig unterscheiden, gehoeren Vedeggio-Agno und Riale di Gnosca unterschiedlichen Regimetypen an.

Die Zuordnung aller zusaetzlichen Messstationen gestattet es schliesslich, den raeumlichen Gueltigkeitsbereich der tiefer gelegenen suedalpinen Regimetypen mit grosser Wahrscheinlichkeit festzulegen:

- 'régime pluvial méridional': 300 - 700 m mittl. FN-Hoehe
- 'régime pluvio-nival méridional': 700 - 1200 m mittl. FN-Hoehe
- 'régime nivo-pluvial méridional': 1200 - 1800 m mittl. FN-Hoehe

Neben diesen Hoehengrenzen, die eine Differenzierung des Abflussmaximums widerspiegeln, laesst sich auch fuer die pluvial beeinflusste Abflusskomponente der Herbstmonate eine Hoehengrenze anfragen: bei ca. 1300 m mittlerer Einzugsgebietshoehe - also im Bereich des Uebergangs vom 'régime nivo-pluvial méridional' zum 'régime pluvio-nival méridional' - verlagert sich das sekundaere Herbstmaximum vom Monat September auf die Monate Oktober oder gar November.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Einzugsgebiete mit mittleren Hoehen von ueber 2300 m und arealen Vergletscherungsanteilen von ueber 6 % verhalten sich nicht wesentlich anders als alpine Einzugsgebiete. Zwischen 1800 und 2300 m schliesst sich der nivale Regimetyp an: Die beiden Regimegruppen, die sich aufgrund des Kurvenverlaufs im Abflussmaximums erkennen lassen, sind raeumlich ueber die mittlere Hoehe und die Vergletscherung nicht exakt festlegbar. Der nivopluviale Regimetyp tritt zwischen 1200 und 1800 m mittlerer Einzugsgebietshoehe auf. Unterhalb 1300 m verlagert sich das sekundaere Maximum vom September auf den Oktober oder November. Das pluvio-nivale Abflussregime mit Hoehenbereichen zwischen 700 und 1200 m und das pluviale Regime zwischen 300 und 700 m vervollstaendigen die suedalpinen Regimetypen.

Somit erhalten wir abschliessend folgendes Bild:

1. Alpine glaziale und glazionivale Regimes
 > 2300 m mittlere FN-Höhe und > 6 % Vergletscherung
2. 'régime nival méridional' 1800-2300 m 0-6 % Vergletscherung
3. 'régime nivo-pluvial méridional' 1200-1800 m mittlere FN-Höhe
4. 'régime pluvio-nival méridional' 700-1200 m mittlere FN-Höhe
5. 'régime pluvial méridional' 300- 700 m mittlere FN-Höhe

ZUSAMMENFASSUNG

Die suedalpinen Einzugsgebiete, welche durch 22 repraesentative Stationen beschrieben werden, weisen z.T. eingipflige und z.T. mehrgipflige Abflussregimes auf. Diese beiden Grundtypen lassen sich raeumlich nur schlecht trennen. Die Analyse der Datenstruktur laesst im Vergleich zu nordalpinen Einzugsgebieten allgemein hoehere Variationen der Abflusskoeffizienten erkennen; insbesondere die relativ stark pluvial beeinflussten Herbstmonate haben grosse Variationskoeffizienten. Die Repraesentativitaet der mittleren Regimekurven suedalpiner Einzugsgebiete fuer die Verhaeltnisse im Einzeljahr ist mit jener nordalpiner Gebiete entsprechender Hoeohenlage vergleichbar.

Die Regimes von Einzugsgebieten $> 6\%$ arealer Vergletscherung und > 2300 m mittlerer Hoehe sind mit nordalpinen Einzugsgebieten mit vergleichbaren raeumlichen Parameter verwandt. Die restlichen suedalpinen Einzugsgebiete koennen in den hoeheren Lagen aufgrund der Rangfolge der Abflusskoeffizienten im Bereich des Abflussmaximums und in den tieferen Lagen aufgrund der Variationsbreite des Abflussregimes und des sog. Nivalitaetskoeffizienten folgenden Regimetypen zugeordnet werden:

- 'régime pluvial méridional': 300 - 700 m mittl. FN-Hoehe
- 'régime pluvio-nival méridional': 700 - 1200 m mittl. FN-Hoehe
- 'régime nivo-pluvial méridional': 1200 - 1800 m mittl. FN-Hoehe
- 'régime nival méridional': 1800 - 2300 m mittl. FN-Hoehe

Es gelingt, die suedalpinen Regimetypen ueber die mittlere Einzugsgebietshoehe festzulegen und somit die Voraussetzung zur Abschaetzung des Regimetyps an einer Stelle ohne Direktmessung zu schaffen.

GESAMTLITERATURVERZEICHNIS UND QUELLEN

- AARGAUISCHES BAUDEPARTEMENT, ab 1977: Hydrographisches Jahrbuch des Kantons Aargau, Aarau.
- ABTEILUNG FUER LANDESHYDROGRAPHIE (Eidg. Departement des Innern): Die Wasserverhältnisse der Schweiz - Die Flächeninhalte. Bern.
- 1910: Aaregebiet von den Quellen bis zum Bielersee
- 1913: Tessingebiet / Addagebiet
- AMT FUER UMWELTSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT des Kt. Thurgau: Hydrologisches Jahrbuch des Kt. Thurgau, Frauenfeld.
- AMT FUER WASSERWIRTSCHAFT (Eidg. Departement des Innern): Wasserverhältnisse der Schweiz - Die Flächeninhalte. Bern.
- 1920: Aaregebiet von den Quellen der Orbe bis zum Rhein
- 1920: Limmatgebiet
- 1924: Inngebiet / Romgebiet
(s. auch EIDG. OBERBAUINSPEKTORAT)
- ASCHWANDEN, H., 1985: Zur Abschaetzung der Abflüsse in ungemessenen Einzugsgebieten. Diss. Univ. Bern, in Vorbereitung.
- ASCHWANDEN, H., 1982: Niederschlag und Abfluss dargestellt an fünf Teileinzugsgebieten der Luetschine im Raume Grindelwald. Diplomarbeit Universität Bern.
- ASCHWANDEN, H., LEIBUNDGUT, Ch., WEINGARTNER, R., 1984: Abflussregimeforschung und ihre praktische Bedeutung. In: Geographica Helvetica, Nr. 3:149-153, Bern.
- ASCHWANDEN, H., WEINGARTNER, R., 1985: Karte "Die Abflussregimes der Schweiz". In Vorbereitung, Universität Bern.
- BAHRENBERG, G., GIESE, E., 1975: Statistische Methoden und ihre Anwendung in der Geographie. Teubner Studienbücher, Stuttgart.
- BAUDIREKTION BASEL-LANDSCHAFT: Hydrographisches Jahrbuch des Kantons Basel - Landschaft, Oberflächengewässer. Liestal.
- BAUMGARTNER, A., REICHEL, E., WEBER, G., 1983: Der Wasserhaushalt der Alpen. Verlag Oldenbourg, München.
- BEUTEL, P., SCHUBOE, W., 1983: SPSS - Statistik-Programm-System fuer die Sozialwissenschaften. Verlag G. Fischer, Stuttgart.
- BINGGELI, V., 1975: Einige typische Werte zum Wasserhaushalt der Schweizer Alpen, insbesondere des Kantons Tessin. In: Geographica Helvetica, Nr. 2:71-73, Bern.
- BINGGELI, V., 1974: Hydrologische Studien im zentralen Schweizerischen Alpenvorland, insbesondere im Gebiet der Langete. Beiträge zur Geologie der Schweiz-Hydrologie, Nr. 22, Bern.
- BINGGELI, V., 1961: Zur Morphologie und Hydrologie der Valle Lucomagno. Diss. Univ. Bern, Beiträge zur Geologie der Schweiz-Hydrologie, Nr. 12, Bern.
- BUTTET, P., SPREAFICO, M., 1983: Verzeichnis der schweizerischen Pegelstand- und Abflussmessstationen an Oberflächengewässern. Mitt. Nr. 5 der Landeshydrologie, Bundesamt fuer Umweltschutz, Bern.
- BOLLINGER, G., HERRMANN, A., MOENTMANN, V., 1983: BMDP - Statistikprogramme fuer die Bio-, Human- und Sozialwissenschaften. G. Fischer, Stuttgart.
- CAFLISCH, T., MUELLER, F., MUELLER, G., 1976: Firn und Eis der Schweizer Alpen - Gletscherinventar. Geograph. Institut der ETH Zuerich, Nr. 57, Zuerich.
- CATI, L., 1983: Idrografia e idrologia del Po. Ministero dei Lavori Pubblici, Servizio Idrografico, Publ. No. 19, Parte secundo: Annali Idrologici.
- CONRAD, V., POLLAK, L.W., 1962: Methods in Climatology, Cambridge.
- DIPARTIMENTO DELL' AMBIENTE, ab 1981: Annuario idrografico del Cantone Ticino. Bellinzona.
- DYCK, S., 1980,1: Angewandte Hydrologie, Teil I: Berechnung und Regelung des Durchflusses der Flüsse. W. Ernst, Berlin.

- EIDG. AMT FUER WASSERWIRTSCHAFT, 1973: Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz auf den 1. Januar 1973 (mit jaehrlichen Nachtraegen). Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern.
- EIDG. AMT FUER WASSERWIRTSCHAFT, 1968: Natuerliche und durch Ableitungen beeinflusste Wasserfuehrung der schweiz. Gewaesser. Mitt. d. Eidg. Amtes f. Wasserwirtschaft. Nr. 45, Bern.
- EIDG. AMT FUER WASSERWIRTSCHAFT: Hydrographisches Jahrbuch der Schweiz 1917-1977, Bern. (s. auch LANDESHYDROLOGIE)
- EIDG. OBERBAUINSPEKTORAT (Abt. fuer Hydrometrie): Wasserverhaeltnisse der Schweiz - Die Flaecheninhalte. Bern.
 - 1896: Rheingebiet
 - 1898: Rhonegebiet
 - 1903: Reussgebiet
- EMMENEGGER, Ch., 1974: Hydrometrische Stationsnetze in der Schweiz: Zusammenhaenge und aktuelle Probleme. Fortbildungskurs fuer Angewandte Hydrologie, Sursee.
- EMMENEGGER, Ch., SPREAFICO, M., 1979: Place de l'hydrologie dans les décisions concernant la gestion des eaux. In: Wasser, Energie, Luft, 71.Jg, H.10: 213-217, Baden.
- FITZPATRICK, E.A., HART, D., BROOKFIELD, H.C., 1966: Rainfall Seasonality in the Tropical Southwest Pacific. In: Erdkunde, Nr. 20: 181-194, Bonn.
- GAEUMANN, E., 1974: Beitrage zur Morphologie und Hydrologie des Isonetales. Bolletino della Soc. Ticinese di Scienze Naturali: 58-161, Bellinzona.
- GAUDET, F., 1975: Les cours d'eaux alpins de regime glaciaire. Diss. Universite de Lille.
- GLOS, E., 1966: Eine verbesserte Methode der Parameterschaetzung fuer die PEARSON-Verteilung Typ III. In: Wasserwirtschaft, Wassertechnik, Nr. 7/8: 238-241, Ost-Berlin.
- GRIMM, F., 1968,1: Das Abflussverhalten in Europa - Typen und regionale Gliederung. In: Wiss. Veroeffentl. d. Deut. Inst. f. Laendarkunde, Neue Folge 25/26, Leipzig.
- GRIMM, F., 1968,2: Zur Typisierung des mittleren Abflussganges (Abflussregime) in Europa. In: Freiburger Geogr. Hefte, Nr.6: 51-64, Freiburg i. Br..
- GRUETTER, E., 1967: Beitrage zur Morphologie und Hydrologie des Val Verzasca. Diss. Univ. Bern, Beitrage zur Geologie der Schweiz-Hydrologie, Nr. 15, Bern.
- GUILCHER, A., 1965: Précis d'hydrologie marine et continentale. Masson, Paris.
- GYGAX, F., 1948: Niederschlag und Abfluss im Einzugsgebiet der Magliasina. Beitrage zur Geologie der Schweiz-Hydrologie, Nr. 4, III. Band, Bern.
- HANSEL, N., SCHAEFER, U., 1970: Beschreibung (Typung) und Deutung von Inhomogenitaeten und Inkonsistenzen von hydrologischen Zeitreihen. In: Wiss. Zeitschr. Techn. Universitaet Dresden, 1974: 1039-1046.
- HERRMANN, A., EGGER, F., 1980,I,II: Das Abflussverhalten im Flussgebiet der Isar unter Anwendung der Fourieranalyse - Ein Beitrag zur Abflussregime-Forschung. In: Deut. Gewaesserkundl. Mittl., 24.Jg., Nr. 3/4: 81-85 (I) und 5: 132-135 (II), Koblenz.
- HERRMANN, R., 1965: Vergleichende Hydrogeographie des Taunus und seiner suedlichen und suedoestlichen Randgebiete. Giessener Geograph. Schriften, H. 5.
- HERRMANN, R., 1970: Fourier-Analyse des Abflussregimes im westlichen Zentralafrika. In: Erdkunde, Nr. 24: 120-126, Bonn.
- HIRSBRUNNER, G., 1958: Beitrage zur Morphologie und Hydrologie der Rovanaetaeler. Beitrage zur Geologie der Schweiz-Hydrologie, Nr. 11, Bern.
- JAECKLI, H., 1967: Hydrogeologische Karte der Schweiz 1 : 500'000. In: Atlas der Schweiz, Tafel 16, Wabern-Bern.
- JAGGI, Ch., 1970: Hydrologische Untersuchungen in verschiedenen Tessinertaeler. Beitrage zur Geologie der Schweiz-Hydrologie, Nr. 18, Bern.
- JATON, J.-F., 1980: Détermination des écoulements annuels et mensuels moyens d'un bassin versant. EPFL Publication No. 190, Lausanne.

- JEANNERET, F., 1967: Klimaeignungskarten fuer die Landwirtschaft in der Schweiz. In: Grundlagen fuer die Raumplanung, Eidgenoessisches Justiz- und Polizeidepartement, Bern.
- KANT. AMT FUER WASSERWIRTSCHAFT, ab 1979: Hydrographisches Jahrbuch des Kt. Solothurn. Solothurn.
- KARDOS, M., 1975: A new method for modelling monthly discharge series. In: IAHS Publication No. 115:122-130, IAHS Symposium Bratislava.
- KASSER, P., 1978: Gletscher und Klima. Jahrbuch der SNG, Birkhaeuser Verlag, Basel.
- KELLER, R., 1968: Die Regime der Fluesse der Erde. In: Freiburger Geogr. Hefte Nr.6:65-86, Freiburg i. Br..
- KILCHENMANN, A., MOERGELI, W., 1970: Typisierung der Gemeinden im Kanton Zuerich mit multivariaten statistischen Methoden aufgrund ihrer wirtschaftsgeographischen Struktur. In: Vierteljahresschrift der Naturforsch. Gesellschaft Zuerich.
- KISTLER, E., 1954: Hydrologische Untersuchungen im Gebiete der Valle Onsernone (Kanton Tessin). Diss. Univ. Bern.
- KRESSER, W., 1961: Hydrographische Betrachtung der oesterreichischen Gewaesser. In: Verh. Internat. Verein. Limnol., Nr.14, Stuttgart.
- KREYSZIG, E., 1965: Statistische Methoden und ihre Anwendungen. Vanderhoeck und Ruprecht, Goettingen.
- LANDESHYDROLOGIE: Hydrologische Jahrbuecher der Schweiz 1978-1981, Bern. (Fortsetzung des hydrographischen Jahrbuches, s. EIDG. AMT FUER WASSERWIRTSCHAFT).
- LEIBUNDGUT, Ch., 1982: Abschaetzung der Abfluesse in Fliessgewaessern an Stellen ohne Direktmessung - Konzept eines geographisch-hydrologischen Beitrages zum Nationalen Forschungsprogramm "Grundlegende Probleme des schweizerischen Wasserhaushaltes". In: Geoinf, Nr. 41:21-28, Geographisches Institut der Universitaet Bern.
- LEIBUNDGUT, Ch., 1983: Runoff Regime of a Tropical High Mountain Region. In: IAHS-Publ. No. 140:313-324, Hamburg.
- LESER, H., 1976: Landschaftsoekologie. UTB Nr. 521, Stuttgart.
- MUELLER, H., 1972: Beitraege zur Geomorphologie des Maggiatales oberhalb Bignasco. Diss. Univ. Bern.
- NIPPES, K.R., 1971: Erweiterte Abflussstatistik anhand von Monatswerten aus dem Duerogebiet. In: Beitraege zur Hydrologie, Freiburg/BRD.
- PARDE, M., 1920: Le régime des cours d'eau suisses. In: Revue de Geogr. alpine, VIII:359-457, Grenoble.
- PARDE, M., 1933: Fleuves et Rivières. Verlag A. Colin, Paris.
- PARIOT, A., 1981: Contribution a l'étude des ressources en eau du bassin de la Broye. EPF, Lausanne.
- RASE, W.-D., 1975: Clusteranalyse fuer raeumliche Typisierungen. In: Giessener Geographische Schriften, Vol. 32:47-56.
- REIST, M., 1958: Beitraege zur Morphologie und Hydrologie des Bavonatales. Diss. Univ. Bern.
- RIEDWYL, H., 1975: Angewandte mathematische Statistik in Wissenschaft, Administration und Technik. P. Haupt, Bern.
- RIEDWYL, H., 1980: Regressionsgerade und Verwandtes. UTB Nr. 923, P. Haupt, Bern.
- RINDLISBACHER, 1954: Planimetrierung der Gletscher - Flaechenstatistik. Int. Bericht, Bundesamt fuer Wasserwirtschaft, Bern.
- ROSENBERG, M., 1979: Notwendige Laenge der Beobachtungsdauer zur Ermittlung vom MQ. In: Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland, Boppard.
- SCHAEDLER, B., 1984: Hydrologische Untersuchungsgebiete und die Veraenderungen unserer Umwelt. In: Umweltschutz in der Schweiz, BUS-Bulletin 3/84, Bern.
- SCHMIDT, F., 1981: Détermination des débits d'étiages de cours d'eau représentatifs de quelques régimes hydriques. Dipl.-Arbeit EPF-Lausanne.

- SCHUEPP, M., GENSLER, G., BOUET, M., 1980: Schneedecke und Neuschnee. Klimatologie der Schweiz, Heft 24/F, SMA, Zuerich.
- SCHULTZ, G.A., 1967: Die Anwendung von Computerprogrammen fuer das Unit Hydrograph Verfahren am Beispiel der Iller. Versuchsanstalt fuer f. Wasserbau der TH Muenchen, Bericht Nr. 10:47-68.
- SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS, 1980: Grundlegende Probleme des Schweizerischen Wasserhaushaltes - Ausfuehrungsplan fuer den Problemkreis: Abschaetzung der Abfluesse in Fliessgewaessern an Stellen ohne Direktmessung, Bern.
- SEDLACEK, P., 1978: Regionalisierungsverfahren. Wege der Forschung, Bd. CXCv, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- SEIFRIED, A., 1971: Eine Untersuchung der Abflussregimes kanadischer Fluesse. Diss. Universitaet Freiburg i.Br.
- SIEGERSTAETTER, L.A., 1973: Verwendung parameterfreier Wahrscheinlichkeitsverteilungen zur Beschreibung hydrologischer Prozesse. Mitt. d. Inst. f. Hydraulik u. Gewaesserkde. d. TU Muenchen, H. 11.
- SKIRKE, S., 1972: Betrachtungen zur interannuellen Veraenderlichkeit von mittleren jaehrlichen Abflussmengen. In: Freiburger Geographische Mitteilungen, Jg. 72/1:63-90, Freiburg i. Br..
- SCHWEIZERISCHE METEOROLOGISCHE ANSTALT, 1984: Klimaatlas der Schweiz - 2. Lieferung. Verlag des Bundesamtes fuer Landestopographie, Wabern b. Bern.
- SPREAFICO, M., BIGLER, R., 1980: Verzeichnis der hydrologischen Untersuchungsgebiete der Schweiz. Mitt. der Landeshydrologie Nr. 2, Bundesamt fuer Umweltschutz, Bern.
- STATPLOT: Statistikprogrammpaket des Institutes fuer angewandte Statistik und Versicherungslehre der Universitaet Bern.
- STEINER, D., 1965: Die Faktorenanalyse - Ein modernes statistisches Hilfsmittel des Geographen fuer die objektive Raumgliederung und Typenbildung. In: Geographica Helvetica, 20:20-34, Bern.
- STREIT, U., 1975: Ein Schaetzverfahren zur Bemessung von Versorgungsspeichern auf der Grundlage physiographischer Einzugsgebietscharakteristika. In: Deut. Gewaesserkundl. Mittl., 19.Jg, H3:65-76, Koblenz.
- TROXLER, F.X., 1985: Untersuchung invariabler Einzugsgebietsparamater im Mittelland und Jura. Seminararbeit Geograph. Inst. d. Universitaet Bern.
- UEBERLA, K., 1971: Faktorenanalyse. Springer Verlag, Berlin.
- UTTINGER, H., 1977: Mittlere jaehrliche Niederschlagsmengen in cm - Periode 1901-1940. In: Atlas der Schweiz, Tafel 12, Wabern.
- VISCHER, D., 1980: Die Auswirkungen alpiner Speicherseen auf die Umwelt. In: Pro Aqua-Pro Vita 80, Bd. 8 C:1-14, Basel.
- VOGEL, F., 1975: Probleme und Verfahren der numerischen Klassifikation. Goettingen.
- WALSER, E., 1960: Die Abflussverhaeltnisse in der Schweiz waehrend der Jahre 1910 bis 1959. In: Wasser- und Energiewirtschaft, Nr.8-10:197-215, Baden.
- WASSER- UND ENERGIEWIRTSCHAFTSAMT des Kt. Bern, ab 1977: Hydrographisches Jahrbuch des Kt. Bern. Bern.
- WEINGARTNER, R., 1985: Grundlagen zu einem "Hydrologischen Atlas der Schweiz". Diss. Univ. Bern, in Vorbereitung.
- WILDBERGER, A., 1981: Zur Hydrogeologie des Karstes im Rawilgebiet. Beitr. zur Geologie der Schweiz - Hydrologie, Nr. 27, Bern.
- WITSCHI, R., 1957: Morphologie und Hydrologie der oberen Bleniotaeler. Diss. Univ. Bern.
- WMO, 1977: Hydrological maps - a contribution to the International Hydrological Decade. Paris.

Wir moechten an dieser Stelle folgenden Institutionen und Amtsstellen, die uns fuer die vorliegende Untersuchung Daten zur Verfuegung stellten, danken:

- Amt fuer Gewaesserschutz und Wasserbau des Kantons Zuerich, Abt. Wasser- und Energiewirtschaft;
- Amt fuer Umweltschutz und Wasserwirtschaft des Kt. Thurgau;
- Amt fuer Umweltschutz und Energie des Kt. Basel-Landschaft;
- Amt fuer Wasser- und Energiewirtschaft des Kt. Sankt Gallen;
- Baudepartement des Kt. Aargau, Abt. Gewaesser;
- Baudirektion des Kt. Appenzell-Innerrhoden, Fachstelle Gewaesser;
- Baudirektion des Kt. Zug, Tiefbauamt;
- Bernische Kraftwerk AG, Bauabteilung;
- Bundesamt fuer Statistik, Informationsraster;
- Bundesamt fuer Wasserwirtschaft;
- Dipartimento dell' Ambiente, Sezione economica dell' acque;
- Eidg. Anstalt fuer das Forstliche Versuchswesen;
- Elektrizitaetswerk des Bezirks Schwyz;
- Institut de Genie Rural, EPFL Lausanne;
- Kantonales Amt fuer Gewaesserschutz, Luzern;
- Kantonales Amt fuer Wasserwirtschaft, Solothurn;
- Kraftwerke Brusio AG, Poschiavo;
- Landeshydrologie Bern;
- Schweizerische Meteorologische Anstalt;
- Wasser- und Energiewirtschaftsamt des Kt. Bern - Hydrologie.

